

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de un sistema electrónico para realizar pruebas de Domótica
Pasiva sobre maquetas o prototipos de edificaciones.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Bryan Washington Morán Lino

Patricio Raúl González Palomeque

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Maricela y Jairon, quienes siempre pendientes a sus hijos se han esforzado incluso mucho más allá de lo que sus fuerzas lo permiten. A todos mis familiares, amigos y compañeros que me brindaron sus sonrisas y hombros cuando los ánimos amainaban en mí. A Gaby, mi ángel, quien ha sido mi aliento en este largo camino, quien no mide recursos cuando necesito de su ayuda, quien es mi luz cuando la tristeza y desesperación intentan golpearme.

Bryan Washington Morán Lino

El presente proyecto lo dedico a mis Padres, quienes siempre me apoyaron en lo que pudiesen a lo largo de mi carrera, mis hermanos, quienes siempre supieron guiarme con su ejemplo de superación y dándome ánimos, aunque no lo supieran. Finalmente, a todos los amigos que a lo largo del camino aportaron su grano de arena para poder llegar hasta este final...

Patricio Raúl González Palomeque

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin las experiencias y conocimientos que me dio la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Agradezco a mi profesor M. SC Hernán Alfredo Gutiérrez Vera quien con su analogía de la planta y la grúa me enseñó la importancia de emplear los métodos adecuados en la vida laboral. A mi tutor, M.SC Alexander Prieto León, guía en la realización de este trabajo de titulación. A la Facultad de Ingeniería eléctrica y Computación por permitirme conocer a compañeros que estoy seguro serán excelentes profesionales.


Bryan Washington Morán Lino

Gracias a todos aquellos profesores que fueron dejando huella, y compartieron sus conocimientos, sin ustedes no podría haber llegado hasta este punto. A todos mis estudiantes quienes me enseñaron que siempre se puede mejorar lo que ya se conoce. A nuestro tutor, M. Sc. Alexander Prieto León, por guiarnos a lo largo de este trabajo de titulación. Infinitas gracias a la deidad suprema que rige nuestro universo por haberme permitido llevar a cabo esta experiencia.

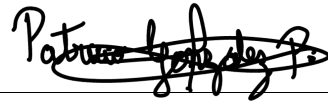
Patricio Raúl González Palomeque

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *ESPOL* y damos nuestro consentimiento para que la *ESPOL* realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Bryan Washington Morán Lino



Patricio Raúl González Palomeque

EVALUADORES



Msc. Agila Galvez Wilton Edixon

PROFESOR DE LA MATERIA



Msc. Alexander Prieto León

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el presente proyecto se detalla el diseño de un sistema electrónico con comunicación hacia una PC, interfaz de usuario y movimientos mecánicos para simular condiciones ambientales y medir factores físicos en un prototipo de edificio. Para lograrlo comenzamos con el diseño de la estación de simulación, la cual consiste en un sistema de rieles, rodamientos y motores de paso que en conjunto desplazarán dos componentes de dicha estación. Las componentes a las que nos referimos son las que simularán condiciones climáticas, un foco de calefacción que brinda radiación UV similar al incidente en la tierra y un ventilador centrífugo el cual dirigirá el aire en determinados puntos y con determinado flujo. El simular las condiciones climáticas nos abre paso a la recolección y análisis de datos de cuatro factores físicos claves que hemos considerado en el proyecto. Con ayuda de sensores y un Arduino, procesamos, almacenamos y dirigimos los datos hacia una PC en donde, con ayuda de LabVIEW, se presentan finalmente al usuario para su posterior visualización y análisis. Es importante mencionar que un sensor de flujo de aire para lo que requiere el proyecto resulta difícil conseguir en el mercado, por lo que exponemos también una propuesta de diseño para un sensor de flujo de aire que se ajuste a nuestras necesidades. La finalidad del proyecto es lograr solucionar la problemática de quienes estén inmersos en el área de la domótica pasiva al brindar una herramienta para realizar las validaciones que requieren sus diseños.

Palabras Claves: Domótica, mecanismos, Arduino, LabVIEW, sensores.

ABSTRACT

This project details the design of an electronic system with communication to a PC, user interface and mechanical movements to simulate environmental conditions and sensing physical factors in a building prototype. To achieve this, we start with the design of the simulation station, which consists of a system of rails, bearings and stepper motors that together will displace two components of that station. The components to which we refer are those that will simulate weather conditions, a heating focus that provides UV radiation like the incident on earth and a centrifugal fan which will direct the air at certain points and with a certain flow. Simulating weather conditions makes way for us to collect and analyze data from four key physical factors that we have considered in the project. With the help of sensors and an Arduino, we process, store and direct the data to a PC where, with the help of LabView, they are finally presented to the user for further visualization and analysis. It is important to mention that an airflow sensor for what the project requires is difficult to achieve on the market, so we also put forward a design proposal for an airflow sensor that fits our needs. The purpose of the project is to solve the problems of those immersed in the area of passive home automation by providing a tool to perform the validations that their designs require.

Keywords: Home automation, mechanisms, Arduino, LabVIEW, sensors

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
ABSTRACT	I
ÍNDICE GENERAL	I
ABBREVIATIONS.....	IV
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	1
1.4.1 Domótica.....	1
1.4.2 Domótica Pasiva.....	1
1.4.3 Tecnologías de envolvente en el diseño pasivo	3
1.4.4 Criterios de alto rendimiento para el diseño pasivo	4
1.4.5 Sistemas de calentamiento y enfriamiento pasivo	6
1.4.6 Radiación UV	9
1.4.7 Modelado de la información de la edificación	10
1.4.8 Transductores.....	11

1.4.9	Sensores.....	11
1.4.10	Microcontroladores	12
1.4.11	SCADA	12
1.4.1	LabVIEW.....	13
CAPÍTULO 2.....		14
2.	Metodología	14
2.1	Requerimientos	14
2.2	Recreación de condiciones climáticas.....	15
2.2.1	El sol.....	15
2.2.2	Recreando el viento	17
2.3	Movimientos mecánicos	17
2.3.1	Guías y carros.....	17
2.3.2	Ejes lineales.....	18
2.3.3	Eje y tuerca deslizante.....	19
2.3.1	Chumaceras.....	20
2.3.2	Yoyo retráctil.....	20
2.4	Incidencia de ventilación	21
2.5	Incidencia Solar	22
2.6	Motor y driver	24
2.7	Instrumentación.....	25
2.7.1	Unidad de control.....	25
2.7.2	Conexiones y simulación	26
2.7.3	Programación (Micro)	27
2.8	Red de sensores	42
2.8.1	Sensor de temperatura y Humedad relativa	42
2.8.2	Sensor de intensidad lumínica.....	43
2.8.3	Sensor de flujo de aire	43

CAPÍTULO 3.....	46
3. Resultados Y ANÁLISIS	46
3.1 Prototipado del proyecto.....	46
3.2 Modelado de la estructura	46
3.3 Sensor de flujo de aire.....	50
3.3.1 Principios físicos	50
3.3.2 Principios de diseño del sensor	50
3.3.3 Pruebas	50
3.4 Conexiones	51
3.5 Pruebas de Software del microcontrolador.....	52
3.6 Validación total del proyecto.....	54
3.7 Análisis de costos.....	54
CAPÍTULO 4.....	56
4. Conclusiones Y Recomendaciones	56
4.1 Conclusiones.....	56
4.2 Recomendaciones.....	57
5. Referencias.....	58
5.1 Bibliografía y Referencias.....	58
5.2 Linkografía.....	59
A. Apéndices.....	60

ABBREVIATIONS

AL	Air Leakage
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CDC - US	Center for Disease Control and Prevention of the United States of América
CPU	Central processing unit
DHHS	Department of Health & Human Services
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LDR	Light dependent resistor
NTC	Negative Temperature Coefficient
PC	Personal Computer
RAM	Random Acces Memory
ROM	Read Only Memory
RTD	Resistance Temperature Detector
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient
SMD	Surface-mount technology
UV	Ultraviolet
VLT	Visible Light Transmittance

ABREVIATURAS

AL	Fuga de aire
BIM	Modelado de Información de Construcciones
CAD	Diseño asistido por ordenador
CDC – US	Centro de control y prevención de enfermedades - Estados Unidos
CPU	Unidad central de procesamiento
DHHS	Departamento de salud y servicios humanos
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LDR	Resistor dependiendo de luz
NTC	Coefficiente De Temperatura Negativo
PC	Computador personal
RAM	Memoria de acceso aleatorio
ROM	Memoria de sólo lectura
RTD	Detector de temperatura resistivo
SCADA	Supervisión Control y Adquisición de datos
SHGC	Coefficiente de ganancia de calor solar
SMD	Tecnología de montaje superficial
UV	Ultravioleta
VLT	Transmitancia de luz visible

SIMBOLOGÍA

m	Metro
in	pulgadas
ft	pies
V	Volts
A	Amperios
L	Litros
nm	Nanómetro
CFM	Pie cúbico por minuto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolución del hogar del ser humano en el tiempo.....	1
Figura 1.2 Representación de los ángulos de incidencia	2
Figura 1.3 Vivienda abovedada para aplacar	2
Figura 1.4 Persianas para controlar el sombreado.....	4
Figura 1.5 Composición de una pared térmica.	4
Figura 1.6 Vista en perspectiva de un cristal revestido.	5
Figura 1.7 Incidencia solar aprovechada para.....	6
Figura 1.8 Incidencia solar aprovechada para un muro de acumulación.....	6
Figura 1.9 Funcionamiento del muro de	6
Figura 1.10 Incidencia solar aprovechada por.....	7
Figura 1.11 Funcionamiento del techo de	7
Figura 1.12 - Edificio con ventanales a un costado que permiten iluminar el interior.	8
Figura 1.13 – Formas de claraboyas o tragaluces según la incidencia solar	8
Figura 1.14 - Estantes permiten el paso al interior según la hora del día.....	8
Figura 1.15 - Tubos de luz, por lo general son de material reflectante.....	8
Figura 1.16 Aislamientos térmicos.....	8
Figura 1.17 – Distribución del aire en un piso con.....	8
Figura 1.18 – Esquema del funcionamiento	9
Figura 1.19 - Simulación computacional de factores físicos	10
Figura 1.20 – LabView.....	13
Figura 2.1 – La radiación UVA incide en la tierra en un 95%	16
Figura 2.2 - Bombilla para crianza de reptiles.	16
Figura 2.3 – Ventilador centrífugo	17
Figura 2.4 – Carro con acoplamiento para rieles guías	18
Figura 2.5 – Riel guía circular.....	18
Figura 2.6 – Esquema de acoplamiento entre carro y guía	18
Figura 2.7 Eje lineal.....	19
Figura 2.8 – Motor de paso.....	19
Figura 2.9 - Eje y tuerca deslizante	20
Figura 2.10 – Chumacera o rodamiento de piso.....	20
Figura 2.11 -Yoyo Retráctil.....	20

Figura 2.12 – Collage que muestra la representación de cómo se llevaría a cabo el movimiento para la ventilación.	21
Figura 2.13 – Espacio tridimensional que representa todos los puntos de incidencia del flujo de aire con el sistema diseñado.....	21
Figura 2.14 – Ángulos de incidencia solar sobre un objeto	22
Figura 2.15 – Uso de las guías y chumaceras.....	22
Figura 2.16 – Uso del eje lineal y el yoyo retráctil	23
Figura 2.17 – Uso de tres ejes deslizantes y vista total del diseño para el movimiento solar.....	24
Figura 2.18 – Esquema de conexión del driver del motor	24
Figura 2.19 – Esquema de solución propuesta.	26
Figura 2.20 – Conexión con arduino.	27
Figura 2.21. Explorador de proyecto de LabView	30
Figura 2.22. Variables Globales	31
Figura 2.23. Diagrama de bloque del VI de Salto	32
Figura 2.24. Panel frontal del VI de salto.....	32
Figura 2.25. Panel frontal de VI de Menú.	33
Figura 2.26. Diagrama de bloques del VI del Menú.....	33
Figura 2.27. Panel frontal del VI de información.....	34
Figura 2.28. Diagrama de bloques del VI de información.....	34
Figura 2.29. Panel frontal del VI de procesamiento.....	35
Figura 2.30. Diagrama de bloques del VI de procesamiento.....	36
Figura 2.31. Comunicación Serial.....	36
Figura 2.32. Establecer la comunicación.....	37
Figura 2.33. Procesamiento del dato serial	37
Figura 2.34. Cerrar comunicación serial.....	38
Figura 2.35. Estructura Case para almacenamiento de información.....	39
Figura 2.36. Diez casos presentes en el Case.	39
Figura 2.37. Propiedad del VI Express.	40
Figura 2.38. Evento de apertura de cada uno de los cuartos	40
Figura 2.39. Panel frontal de VI del cuarto.	41
Figura 2.40. Diagrama de bloques del VI del cuarto 1.....	42
Figura 2.41. Diagrama esquemático del sensor de flujo de aire.....	44

Figura 2.42. Diagrama esquemático del PCB.....	44
Figura 2.43. Modelo 3D del sensor.....	45
Figura 3.1. Diagrama principal del sistema.....	46
Figura 3.2. Vista lateral del sistema de rieles y guías. Movimiento para ubicar las bombillas en una trayectoria de arco.....	47
Figura 3.3. Uso de los yoyos retráctiles.....	47
Figura 3.4. Vista lateral del sistema de riel y guías. Movimiento para ubicar las bombillas en el espacio de una superficie esférica.....	48
Figura 3.5. Vista isométrica donde se observan los rieles para la ventilación.....	48
Figura 3.6. Puesto de control.....	49
Figura 3.7. Vista total del proyecto	49
Figura 3.8. Medición de voltaje del sensor con presencia de aire	50
Figura 3.9. Medición de voltaje del sensor sin presencia de aire	51
Figura 3.10. Diagrama esquemático electrónico	52
Figura 3.11. Sensores dentro de la habitación 1	52
Figura 3.12. Prueba de selectoras de MUX.....	53
Figura 3.13. Circuito implementado físicamente.....	53
Figura 3.14. Datos enviados al monitor serie	53
Figura 3.15. Datos visualizados en LabVIEW.....	54
Figura A.1 Modelado 3D del riel circular.....	60
Figura A.2 – Modelado 3D del carro.....	60
Figura A.3 – Modelado 3D del eje lineal.....	60
Figura A.4 – Modelado 3D del soporte para los ventiladores	60
Figura A.5 – Modelado 3D del rodamiento	60
Figura A.6 – Ventilador centrífugo	60
Figura A.7 -Información de rayos UV en foco para terrarios.....	61
Figura A.8 – Diagrama de motor de paso.....	61
Figura A.9 – Dimensiones del riel deslizante.....	61
Figura A.10 – Dimensiones de la tuerca deslizante.....	61
Figura A.11 – Vista superior del sistema	61
Figura A.12 - Vista en perspectiva del sistema.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 - Características de los tipos de rayos UV.....	10
Tabla 1-2 - Tipos de sensores según transducción y variables a medir	11
Tabla 2-1 – Características técnicas de la bombilla para terrarios	16
Tabla 2-2 – Características técnicas del ventilador centrífugo	17
Tabla 2-3 – Características del eje lineal.....	19
Tabla 2-4 – Características del motor de paso	19
Tabla 2-5 – Características del Yoyo Retráctil.....	20
Tabla 2-6 –Componentes usadas.....	22
Tabla 2-7. Componentes usadas para el movimiento	23
Tabla 2-8 – Detalle de los pines del driver A4988	25
Tabla 2-9. Características Arduino Mega 2560 y Raspberry Pi3	25
Tabla 2-10. Característica DHT11 y DHT21	43
Tabla 3-1. Tabla de costos del proyecto.....	55

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Actualmente no existe ningún tipo de práctica de laboratorio ni demostración práctica para el capítulo de Domótica Pasiva de la asignatura itinerario Domótica e Inmótica en la ESPOL. Además, los estudiantes reciben esta sección del contenido de forma completamente teórica con poco o nulo reforzamiento práctico. Finalmente, en todo proceso de diseño de edificaciones, arquitectónico, civil o análisis de implementación domótica, se requiere cierto nivel de experimentación práctica para validar las propuestas desde el punto de vista de la seguridad, el ahorro energético y el confort. Esta validación generalmente se queda en el marco de la simulación computacional a través de los sistemas BIM (Building Information Modeling) y no se prueba en sistemas reales debido al alto costo que esto conllevaría. Ejemplo de las características que se prueban son: luminosidad en su interior, temperatura natural, ventilación natural, y otras como, resistencia estructural y elementos de seguridad. No obstante, luego de tener una propuesta desarrollada en el sistema BIM se puede implementar una maqueta que, bajo ciertas consideraciones, podría permitir validar sus características de diseño.

1.2 Justificación del problema

Los estudiantes de la materia itinerario de Domótica Pasiva podrán solidificar los conocimientos adquiridos a lo largo del curso mediante la ejecución de prácticas de laboratorio que apegadas al contenido del curso servirán de apoyo para comprender de mejor manera los capítulos revisados a lo largo del curso. La validación de conocimientos por medio de prácticas de laboratorio será más exacta y precisa en comparación con las realizadas en simulaciones computacionales, pues estas no consideran del todo muchos de los factores que influyen en condiciones reales. La validación total de los diseños realizados en domótica pasiva se da cuando finalmente se aprueban todas las condiciones y se cumplen los objetivos establecidos en el diseño. Dado que la mayoría de los diseños no pueden

ser probados en condiciones reales si no hasta que se ejecuta y se tiene de manera física el proyecto, la elaboración de un diseño para realizar prácticas de laboratorio que permitan realizar esta validación desde la etapa del diseño reflejará una gran ventaja en cuanto a tiempo, recursos y proximidad del cumplimiento de los objetivos del diseño pasivo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema electrónico para realizar pruebas de domótica pasiva sobre maquetas o prototipos de edificaciones mediante un PC, microcontrolador e instrumentación.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los principales elementos relativos al sistema junto con las pruebas a realizar mediante búsqueda en la literatura especializada.
2. Seleccionar los componentes a utilizar y los sistemas mecánicos a emplear para el desarrollo de cada prueba.
3. Diseñar el sistema electrónico y la conexión de todos sus componentes para la adecuada realización de las pruebas.
4. Implementar los softwares necesarios para la interfaz de trabajo y el desarrollo adecuado de las pruebas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Domótica

Desde sus inicios la humanidad ha necesitado el cobijo de un lugar en el cual pueda descansar de sus actividades. Desde una cueva hasta una moderna casa, el ser humano ha buscado un lugar al cual llamarle hogar y moldearlo acorde al nivel de comodidad, satisfacción y seguridad de la época en la que vive. La forma de moldear dicho hogar siempre ha ido de la mano con la tecnología contemporánea de la que dispone, adaptándose así a sus necesidades. (Javier Garcia, Eva Mancilla)



Figura 1.1 Evolución del hogar del ser humano en el tiempo.

La domótica toma como objetivo satisfacer las necesidades que se presenten para poder adaptar el hogar a características de confort, entretenimiento, seguridad, telecomunicaciones y ahorro de energía. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016). Para lograrlo, se utilizan estrategias de diseño activo y pasivo las cuales en conjunto comprenden lo que se conoce como “Casas inteligentes”. Estas casas inteligentes utilizan nuevas tecnologías tanto de producto como de servicios.

1.4.2 Domótica Pasiva

La domótica pasiva busca aprovechar las condiciones ambientales del lugar en donde se plantea construir la casa de manera que se logre minimizar el uso de energías no renovables para lograr compatibilidad con el medio ambiente.

Para cumplir los objetivos del diseño pasivo se utilizan estrategias según los factores que afecten a la casa. Por ejemplo, la incidencia de los rayos del sol y ráfagas de viento, humedad del ambiente, tipo de suelo, sombra incidente, susceptibilidad a catástrofes en la región, son factores que pueden afectar a la

casa y reducir el tiempo de vida útil de los materiales con los que está construido. Sin embargo, construyendo bajo los principios del diseño pasivo todos estos factores se aprovecharán tanto para la reducción de huella de carbono como para el confort y ahorro energético del hogar. Para el diseño pasivo de la domótica se deben tomar en cuenta los siguientes elementos:

(Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016) Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

- Localización y Orientación
- Factor de forma del edificio
- Envoltente del edificio

1.4.2.1 Localización y Orientación

Dirección de luz y cantidad de calor:

Pensando en una región con alta concentración de calor. El diseño pasivo sugiere aprovechar al máximo recursos predominantes en esta región, la opción más acertada para esta época es el uso de paneles fotovoltaicos pues la luz solar penetra en puertas y ventanas, cambiando la temperatura e iluminación de habitaciones. Esto hará que analicemos los ángulos de incidencia del sol, de manera que junto con tecnologías envolventes se logre maximizar el calor en invierno y minimizarlo en verano. Además, la orientación de inclinación del techo cambiará en comparación con una casa la cual soporta lluvias frecuentes. En cuanto a la cantidad de calor, de ser posible, se sugiere la construcción con rocas volcánicas que permitirán aislar el interior del hogar de temperaturas externas. (Chivelet, 1999)

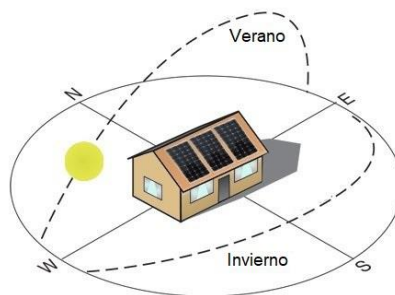


Figura 1.2 Representación de los ángulos de incidencia solar para el verano e invierno.

Brisa y ventilación

Si en la región predominan fuertes vientos en una sola dirección, una casa abovedada facilitará el paso del viento y evitará daños en la estructura por la fuerza del viento. En cuanto a tomar provecho de este recurso, el uso de aspas para generadores eléctricos es ideal para suministrar energía a la casa. El diseño de la fachada y partes del techo se realizarían de manera que permitan refrigerar el interior de manera natural. (Javier Garcia, Eva Mancilla)



Figura 1.3 Vivienda abovedada para aplacar la fuerza del viento.

1.4.2.2 Factor de forma del edificio

Como se dijo previamente, la estructura del edificio debe ser diseñada de forma tal que aproveche los factores que inciden en él. Sin embargo, no solo se pueden aprovechar estos factores en la edificación, la forma del edificio también puede ayudar a la recolección de aguas lluvias. Si la región tiene características de subdesarrollo entonces una edificación con materiales reciclados permitirá realizar el proyecto a bajo costo. Si la vegetación es abundante, la vivienda alcanzará un mejor equilibrio térmico. (Maestre Torreblanca, José Ma, 2015)

1.4.2.3 La envolvente del edificio.

La envolvente se determina por diversos factores. La envolvente puede incluso ajustar la proporción de luz, calor y viento que ingresarán al interior de la vivienda. Además de que, por ser la presentación final de la casa, está sujeta a factores culturales y el sentido de la estética de los que habitarán en ella. Tecnologías envolventes pueden ser las paredes, el techo, estructuras para sombrear, la fachada, ventanas, entre otras. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.3 Tecnologías de envolvente en el diseño pasivo

1.4.3.1 *Aislamiento*

El objetivo de los aislamientos es evitar que se transfiera energía calórica al interior de la vivienda o desde la misma. En verano mantienen fuera de la vivienda la masa calórica mientras que en invierno retienen el calor en su interior. La transferencia de calor que evitan los aislamientos se da por contacto directo o por radiación. En esta última se busca materiales con emisividad en niveles bajos y capacidad de reflexión alta. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.3.2 *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)*

El calor incidente se puede expresar con una relación numérica (SHGC - coeficiente de ganancia de calor). Este es un parámetro que no tiene dimensiones y sus valores son variantes entre 0 y 1, donde 1 es todo el calor máximo transmitido. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.3.3 *Air Leakage (AL)*

La Infiltración de aire es un fenómeno causado por pequeñas grietas que aparecen de manera involuntaria en los aislamientos o en las fachadas del edificio. El AL es la fuga de brisas o vientos ya sea desde dentro hacia fuera de la vivienda o viceversa. Por lo general esta infiltración es indeseada ya que cambia la temperatura interna de la vivienda ya sea con vientos fríos o calientes cuando la fuga es hacia el interior y es un derroche de energía cuando la fuga es desde el interior. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.3.4 *Visible Light Transmittance (VLT)*

Transmitancia de luz visible, se trata de una cantidad porcentual que expresa la cantidad de luz que pasa por determinada área. Por ejemplo, si a cierta área por la cual tenemos una única entrada de luz la cubrimos con una pared, la VLT hacia el otro lado de la pared será del 0%. Por el contrario, antes de colocar la pared en dicha área el VLT era del 100 %. Es decir, el material sobre el área (aire) ajustó la incidencia de luz. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.3.5 **Sombreado**

El sombreado es una de las tecnologías de envolvente más usadas en el diseño de viviendas. Permite controlar el VLT, ayuda a regular el calor y brillo hacia el interior de la vivienda. El uso de los dispositivos de sombreado en el diseño pasivo debe realizarse de manera que los mismos permitan regular la incidencia solar en función de la posición del sol y estaciones del año. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)



Figura 1.4 Persianas para controlar el sombreado dentro del edificio.

1.4.4 **Criterios de alto rendimiento para el diseño pasivo**

1.4.4.1 **Paredes de Sándwich**

Esta tecnología consiste en revestir de aluminio poliuretano en forma de lana y a manera de sándwich una pared. Esto se hace para aprovechar la resistencia térmica del poliuretano. Otras tecnologías reemplazan el aluminio por otro metal liviano, modificando el paso del flujo de aire. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

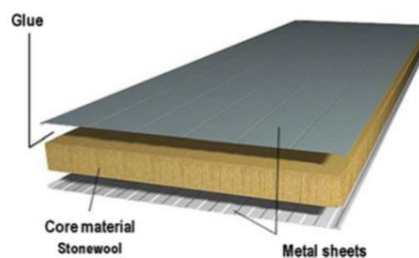


Figura 1.5 Composición de una pared térmica.

1.4.4.2 **Yeso de aislamiento térmico**

Su aplicación es sencilla a diferencia de otros aislamientos. Se compone de espumas de poliestireno mezclados con cemento. Cuando el cemento se mezcla con las espumas permite ahorrar arena y modifica su SHGC, logrando así que este adquiera más resistencia térmica. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.4.3 Ventanas multipaneles y de relleno de gas

Una ventana multipanel tiene como propósito cumplir las funcionalidades de una ventana común y a la vez actuar de aislante térmico y filtro solar. El espacio entre paneles permite encerrar aire el cual aporta con resistencia térmica al panel. En variantes de paneles el aire es reemplazado por otros gases con capacidades aislantes mayores a la del aire. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.4.4 Revestimiento de baja emisividad

Estos revestimientos se diseñan con paneles de vidrio, contienen de manera microscópica secciones de metal. El fin de estas secciones metálicas es reflejar las radiaciones sin impedir el paso de las longitudes visibles. En ocasiones la transmitancia de la luz visible es tan alta que se los recubren con películas o se tintan. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

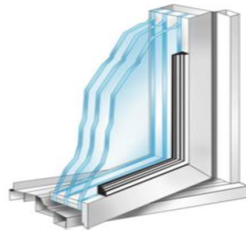


Figura 1.6 Vista en perspectiva de un cristal revestido.

1.4.4.5 Cristales adaptables

Los cristales adaptables reciben su nombre por la capacidad que tienen para modificar sus propiedades en función de los parámetros externos o lo que el usuario requiera. Dependiendo del tipo de cristal, este cambiará su VLT o su SHGC. Los cristales pueden ser:

- Termo crómico (Sensible al calor)
- Foto crómico (Sensible a la luz)
- Electrocrómico (Control eléctrico)

1.4.5 Sistemas de calentamiento y enfriamiento pasivo

1.4.5.1 *Ganancia directa*

La ganancia directa de calentamiento es el método más sencillo de captación, consiste en orientar los paneles de vidrio de manera que capten los rayos solares en función del calor necesario para un determinado punto o sección de la edificación. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

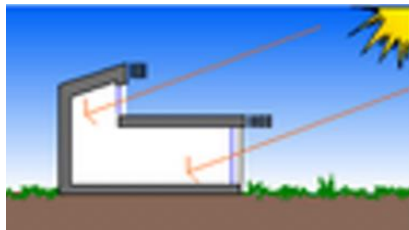


Figura 1.7 Incidencia solar aprovechada para ganancia directa.

1.4.5.2 *Muro de acumulación no ventilado*

El sistema consiste en un muro común pintado con un único color altamente oscuro en la cara que ve al sol. A continuación de él se coloca un panel de vidrio de manera que las longitudes visibles pasan el vidrio, llegan al muro y lo calientan de manera que emiten la radiación infrarroja que se busca. Este efecto generado es similar al efecto invernadero. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

1.4.5.3 *Muro de acumulación ventilado*

El muro de acumulación ventilado emplea la tecnología del muro no ventilado en conjunto con un sistema que permite el ingreso o bloqueo del flujo de aire externo. Esta tecnología permite mantener la temperatura de la vivienda en invierno y ventilar el interior en verano. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

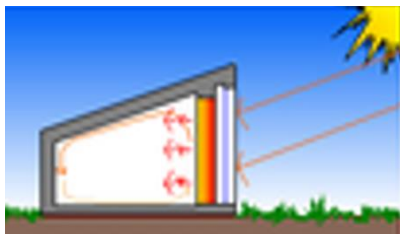


Figura 1.8 Incidencia solar aprovechada para un muro de acumulación.

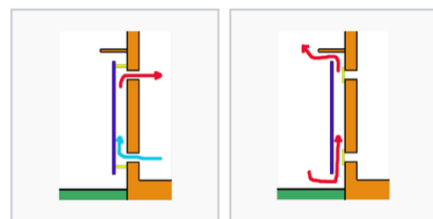


Figura 1.9 Funcionamiento del muro de acumulación ventilado.

1.4.5.4 *Invernadero adosado*

El sistema de invernadero adosado consiste en la colocación de vidrios que permiten captar la mayor cantidad de luz solar. Por ello, la orientación de los paneles debe ser de directa hacia al astro. La función es calentar el aire que ingresará a la vivienda, como separación se puede colocar un muro el cual tenga un rango medio de SHGC, de manera que no se caliente por completo el lado contiguo al espacio destinado al invernadero. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

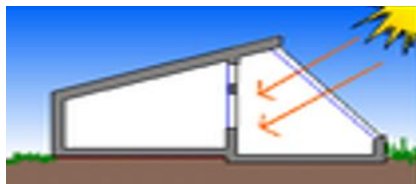


Figura 1.10 Incidencia solar aprovechada por un sistema invernadero.

1.4.5.5 *Techo de acumulación de calor*

Este sistema permite atrapar la energía proveniente del sol en la parte superior de la vivienda, luego de aislar el espacio destinado a la captación de energía se elige la orientación de mayor captación de manera que los paneles permitan aprovechar al máximo el recurso. También son conocidos como estanque de calor y son más utilizados en regiones en las que por la noche la temperatura desciende. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)



Figura 1.11 Funcionamiento del techo de acumulación de calor.

1.4.5.6 *Iluminación diurna*

De manera que se aproveche la luz natural del día se pueden emplear las siguientes tecnologías:

- Ventanas laterales
- Estantes de luz
- Aislamientos transparentes
- Claraboyas o Tragaluces
- Tubos de luz y conductos de espejo



Figura 1.12 - Edificio con ventanales a un costado que permiten iluminar el interior.

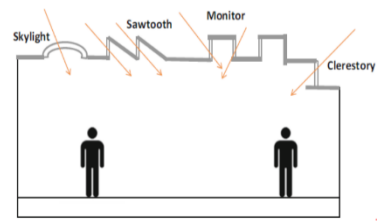


Figura 1.13 – Formas de claraboyas o tragaluces según la incidencia solar

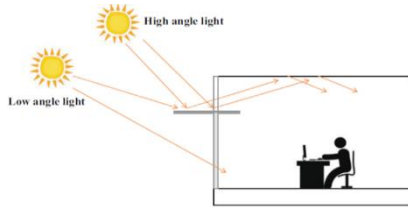


Figura 1.14 - Estantes permiten el paso al interior según la hora del día.

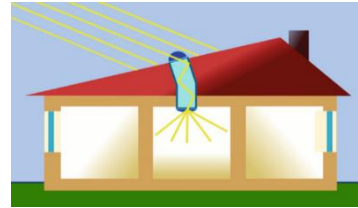


Figura 1.15 - Tubos de luz, por lo general son de material reflectante.



Figura 1.16 Aislamientos térmicos con transparencia

1.4.5.7 Ventilación y enfriamiento natural

Como sistemas de enfriamiento pasivo tenemos:

- Aberturas para ventilación cruzada
- Paredes laterales o de ala
- Apilamiento
- Chimenea solar
- Fachada de doble piel

En las aberturas para ventilación cruzada el diseño del interior de la vivienda aprovecha el ingreso de aire para su distribución por la mayor cantidad de áreas.

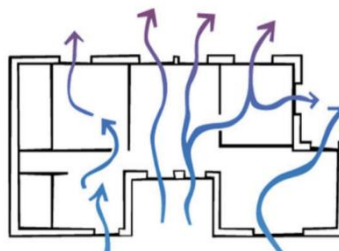


Figura 1.17 – Distribución del aire en un piso con aberturas para ventilación cruzada

Las paredes laterales se diseñan de manera que se crean zonas de alta y baja presión en ambos lados de la pared. Su construcción se la considera desde la etapa del diseño junto con tecnologías envolventes.

Efecto de Apilamiento

El efecto busca aprovechar la densidad del aire caliente a través de aberturas en las envolventes, de manera que el aire caliente subirá inmediatamente, logrando que en el espacio dejado en la parte baja se den presiones negativas y generando aires fríos. Esto se aprovecha en chimeneas solares que calientan un espacio de la vivienda que no es totalmente cerrado para permitir el escape del aire caliente acumulado en este mismo espacio. También debe permitir el ingreso del aire que ya ha circulado por la casa, de manera que, por apilamiento, el aire que está escapando a lo alto de la vivienda deje aires fríos en la parte baja de la misma. (Nilesh Y, Jadhav Springer, 2016)

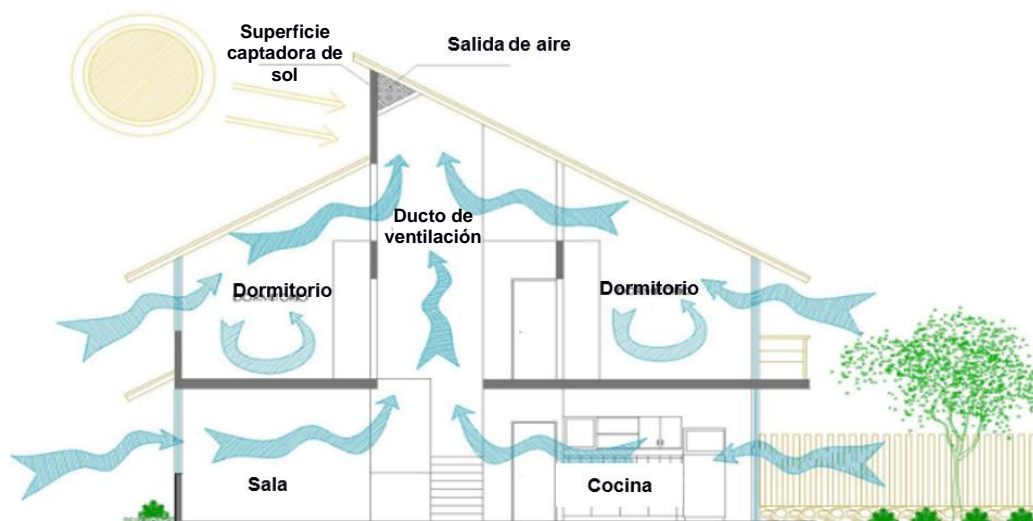


Figura 1.18 – Esquema del funcionamiento de una chimenea solar

1.4.6 Radiación UV

La transferencia de calor es uno de los principales aspectos a tener en cuenta cuando se diseña una edificación. Se hace un análisis de los materiales térmicos a utilizar según la necesidad del proyecto. Uno de los tipos de transferencia de calor incidentes en las edificaciones también se da por la radiación que aporta el sol a la superficie del planeta, la radiación UV, ultravioleta.

Tipos de radiación:

La longitud de onda de la radiación UV se encuentra entre los 100 y 399 nm (nanómetros). Ese rango se dividió en 3 para su clasificación estableciendo los tipos de onda en UVA, UVB, UVC. En la tabla 1.2 se muestra información acerca de esta clasificación: (CDC, U.S. DHHS, 2015)

Tipo de onda	Longitud de onda	Nivel de absorción
UVA [nm]	315 - 399	La capa de ozono no la absorbe
UVB [nm]	280 - 314	Mayoría absorbida por la capa de ozono, pero llega un poco a la tierra
UVC [nm]	100 - 279	La atmósfera y la capa de ozono la absorbe por completo

Tabla 1-1 - Características de los tipos de rayos UV

1.4.7 Modelado de la información de la edificación

Las edificaciones creadas bajo los conceptos del diseño de domótica pasiva deben ser modelados en sistemas computacionales que acumulen la información de manera que se consideren las características estructurales, de arquitectura y componentes mecánicos que lo componen. Antiguamente toda esta información se levantaba en hojas, pero con ayuda de las tecnologías estas hojas pasaron a ser digitales con proyecciones en dos y tres dimensiones. (Picó, 2008)

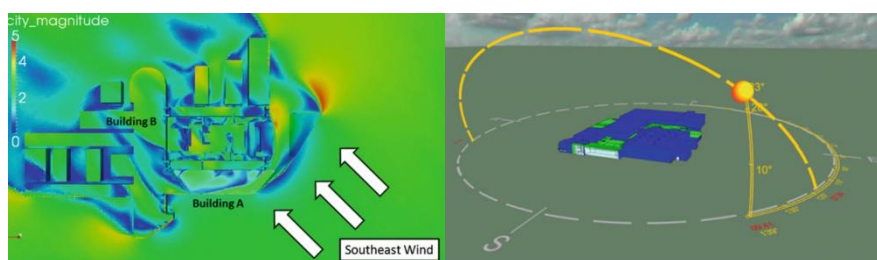


Figura 1.19 - Simulación computacional de factores físicos en el modelado de edificaciones

Los sistemas computacionales con programas de simulación más completos permiten la simulación incluso de factores energéticos que inciden en la realidad, Estas simulaciones son de gran ayuda en el diseño pasivo ya que se requiere validar que las proyecciones de aprovechamiento de los recursos naturales cumplan con los objetivos de diseño planteados. (Picó, 2008)

1.4.8 Transductores

Los transductores son conocidos como componentes que cambian las variables físicas a dominios equivalentes, pero de diferente naturaleza. Cuando pesamos un objeto en una báscula, el peso se representa en una señal que luego será interpretada por quien pesó el objeto. La variable inicial, el peso, ahora fue almacenada en información de parámetros eléctricos o mecánicos. Sin importar el dominio físico en el que se encuentre la variable sabemos que tendremos la información inicial representada en otras unidades.

1.4.9 Sensores

Al igual que los transductores, también son dispositivos que permiten cambiar la representación de la variable física medida. Sin embargo, las salidas de los sensores se toman de manera que sirvan para un sistema de medición, retroalimentación de sistemas para considerar efectos predictivos o correctivos, o para la interpretación de los resultados medidos. La gran mayoría de sensores brindan como salida pequeñas señales eléctricas. El motivo principal del uso de señales eléctricas es porque la velocidad de estas es aprovechada en sistemas que requieren que la respuesta de retroalimentación sea rápida. Los sensores se pueden clasificar por su principio de transducción o por el tipo de variable medida. Esto se puede observar en la tabla 1. (Ramírez, Jiménez, Carreño, 2014)

Sensores			
Por principio de transducción		Por variable a medir	
Piezoresistivo	Magnético	De posición	De flujo y presión
Capacitivo	Termoeléctrico	De velocidad	De color, luz y visión
Piezoeléctrico	Fotoeléctrico	De aceleración	De gas y pH
Ultrasónico	Químico	De nivel y proximidad	Biométricos
		De humedad y temperatura	De corriente
		De fuerza y deformación	

Tabla 1-2 - Tipos de sensores según transducción y variables a medir

1.4.9.1 Sensores de humedad

El sensor de humedad es utilizado en espacios cerrados, el objetivo de este es cuantificar la humedad del aire y la temperatura usando como representación señales que se miden en Amperes en un rango entre 4 y 20 mA. Estos

dispositivos detectan el agua en la atmósfera por medio de higrómetros que previo a su uso deben ser calibrados bajo una referencia. Las unidades de la humedad se expresan en g/m^3 (densidad). (Kouro, Glaría, 2001)

1.4.9.2 Sensores de temperatura

La temperatura es el parámetro más común de medición. La componente transductora de estos sensores realizan la conversión a valores eléctricos. Cuando la conversión es a resistencia existe un material conductor que varía sus valores resistivos según la temperatura a la que se ha sometido. La clasificación de los sensores de temperatura se puede dar el tipo de material, tipo de transducción, rangos de precisión etc. (Ramírez, Jiménez, Carreño, 2014)

1.4.9.3 Sensores de intensidad luminosa

El sensor de intensidad luminosa es conocido por dar respuestas a los cambios que detecte según la luz incidente. La respuesta varía según la luz detectada proporcionando señales eléctricas. El más conocido es el LDR el cual varía su resistencia en función de la luz. (Ramírez, Jiménez, Carreño, 2014)

1.4.10 Microcontroladores

La estructura de los microcontroladores es muy similar a las computadoras. Tienen memorias RAM, ROM y un Control Unit, muy similar a un CPU. Se pueden agregar periféricos a un microcontrolador de manera que faciliten las funciones a implementar. Por lo general son programables lo que los hace multipropósitos.

1.4.11 SCADA

Los sistemas SCADA, abreviatura de “Supervisory Control and Data Acquisition” representan una aplicación que manipula datos de operación de un sistema con el fin de tener control y lograr la optimización de procesos asociados al sistema. SCADA permite que las industrias o negocios alcancen puntos máximos de eficiencia y ahorro. (Penin, 20)

1.4.1 LabVIEW

Es uno de los tantos softwares para la ingeniería que existen. Este software permite realizar simulaciones y pruebas en sistemas virtuales y físicos. La programación que emplea mayormente es la gráfica, permitiendo integraciones a hardware y desarrollo de algoritmos amigables con el usuario.



Figura 1.20 – LabVIEW

Imagen referencial tomada de la página oficial de NI (National Instruments)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Requerimientos

Debido a que la selección de los elementos de diseño pasivo de estas edificaciones aprovecha las condiciones climáticas para generar seguridad, ahorro y confort, estos prototipos de domótica pasiva requerirían estar expuestos a condiciones muy similares a las que estarían en dimensiones reales.

Los parámetros que se aprovechan en el diseño pasivo y se han tomado en cuenta en este proyecto son: Temperatura, humedad, intensidad lumínica y flujo de aire. Las mismas que son generadas por el viento, la lluvia y el sol. Por lo dicho anteriormente, es necesario que nuestro proyecto se encuentre en la capacidad de recrear las condiciones climáticas mencionadas, de manera que sobre el prototipo de edificación se generen los cuatro parámetros considerados en este trabajo. El alcance de este proyecto sobre los prototipos de edificaciones pretende abarcar un máximo de 10 habitaciones, en cada una de ellas se medirán los cuatro parámetros por un tiempo determinado, luego de ello se almacenan los datos y se generará un informe.

Por todo lo expuesto anteriormente, se han clasificado los requerimientos en 3 grupos. En el primero establecemos lo necesario para recrear las condiciones climáticas, como lo son motores, poleas, ejes, mangueras, focos, ventiladores etc. En el segundo grupo mencionamos lo que se requiere para medir los parámetros de interés, desde sensores hasta la selección de la unidad de control, cerebro de nuestro proyecto. En el último grupo detallamos la programación, enlistamos el software necesario para llevar a cabo el accionamiento de los motores, comunicación, adquisición de datos e interfaz.

En el diseño del prototipo las condiciones a simular requieren que se muevan ejes, se activen pequeños motores y se de paso a señales de activación. También es necesario tener una retroalimentación de las posiciones lineales y angulares de

los ejes y motores, esto permitirá tener un mejor control sobre nuestro sistema. Para ello se requerirá de un sistema de control que permita automatizar el prototipo de pruebas de domótica pasiva.

Para llevar a cabo la validación práctica se requiere medir variables como intensidad de luz, temperatura, ventilación, humedad entre otras. En el campo de la electrónica se encuentran los dispositivos más precisos y compactos para dichas mediciones, el costo y su adquisición resulta relativamente económico. Además, mucha de la información que brindan los sensores la dan en forma de señales análogas, las cuales deberán ser procesadas y, según su uso, convertidas a señales digitales. La información tomada de estas señales deberá ser almacenada en algún dispositivo de almacenamiento o una PC, por lo que se requeriría una comunicación entre los sensores y el lugar en donde reposará la información. Los microcontroladores permiten procesar estas señales y hacen posible la comunicación con una PC. Por todo esto, un sistema electrónico permitirá aplicar mayores funcionalidades a nuestro proyecto.

2.2 Recreación de condiciones climáticas

2.2.1 El sol

Si pensamos en luz y calor, en un equipo electrónico, lo primero que pensamos es en una bombilla. A partir de este análisis lógico comenzamos un análisis técnico en el que discriminaremos entre:

- Luz del bombillo
- Color de la luz
- Intensidad calórica
- Rayos UV

En cuanto a intensidad calórica descartamos focos leds y ahorradores. Si pensamos en el color de la luz, deberá ser similar al color visualizado en la corteza terrestre por lo que pensaremos en colores cálidos en la escala de la luz amarilla.

Hasta el momento ya tenemos definido de mejor manera lo que buscamos de esta luz artificial. Este análisis nos ubica de inmediato en los focos incandescentes, pero este no cumple con los requerimientos de generar rayos UV. (SCENIHR, 2012). La solución final a esta búsqueda llegó desde los terrarios para reptiles. Pues en estos sitios de crianza el ambiente artificial que se crea para ellos

debe ser similar a los de climas con temperaturas elevadas, caso contrario los reptiles podrían morir. Las características de estos bombillos son ideales para nuestro sistema de recreación de condiciones climáticas:

- Permite aumentar la temperatura del aire
- Luz intensa gracias a los Wattios que manejan (125 W, 75 W, 50 W, 40 W)
- Intensidad graduable según el voltaje
- Brinda radiación infraroja y UV

La radiación UV necesaria para nuestro proyecto es la UVA esto por ser la radiación que incide en superficie de la tierra en un 95 % (CDC, U.S. DHHS, 2015)

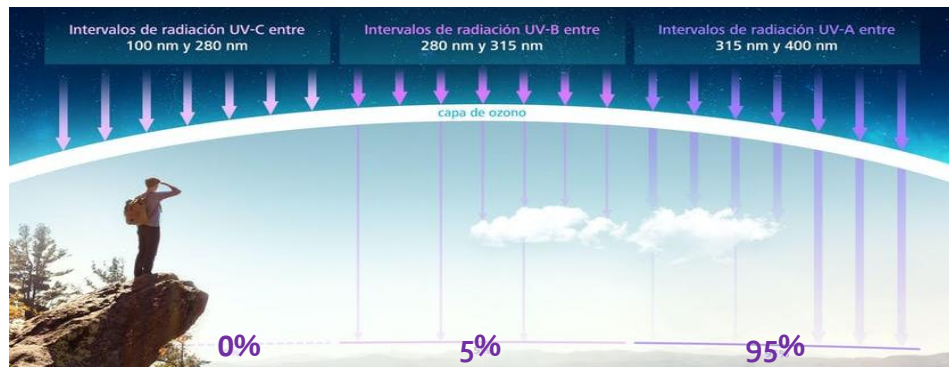


Figura 2.1 – La radiación UVA incide en la tierra en un 95%

Los 4 puntos mencionados anteriormente son más que suficientes para optar una bombilla para terrarios que se usan en la crianza de reptiles y aportan radiación UVA en un 97%



Figura 2.2 - Bombilla para crianza de reptiles.

Bombilla para terrario	
Características	Detalle
Potencia	125 [W]
Dimensiones	6,40 x 5,8 x 5,6 [cm]
Voltaje	110 / 120 [V]
Peso	35 [g]
Luz UV	UVA
Vida útil	13000

Tabla 2-1 – Características técnicas de la bombilla para terrarios

2.2.2 Recreando el viento

Las condiciones de viento deben generarse de forma tal que se pueda controlar y direccionar el flujo de aire emitido. Se puede pensar en un motor y aspas pero el aire lanzado no podrá dirigirse a un punto específico, complicando así la recreación de ráfagas de aire hacia el prototipo de edificación. El direccionamiento del viento se soluciona con un ventilador soplador también conocido como ventilador centrífugo, el mismo consiste en un motor con aspas protegidos por una estructura externa la cual concentra la salida del aire en un área específica.



Figura 2.3 – Ventilador centrífugo

Ventilador Centrífugo	
Características	Detalle
Dimensiones	7,50 x 7,5 x 3,0 [cm]
Voltaje	12 [V]
Corriente	0,36 [A]
Velocidad	2900 [rpm]
Rodamiento	2 bolas
Vida útil	100000
Flujo de aire	11,3 [CFM]
T. de trabajo	-30 ~ + 75 °C

Tabla 2-2 – Características técnicas del ventilador centrífugo

2.3 Movimientos mecánicos

2.3.1 Guías y carros

Las guías circulares son perfectas para el movimiento a recrear, el radio requerido para que pueda rodear al prototipo de edificio es de 1 m. Se colocará dos semiarcos concéntricos, uno a lo largo del eje X y otro a lo largo del eje Y. Cada guía puede acoplar carros, los cuales nos servirán para colocar las respectivas bombillas que simularán el sol además de desplazarse a lo largo del riel guía. También se usará un carro para mover el ventilador centrífugo que simulará el viento.



Figura 2.4 – Carro con acoplamiento para rieles guías



Figura 2.5 – Riel guía circular

Los carros se acoplan a las guías de manera que entre ellos exista la menor fricción posible, esta es una característica que los fabricantes ya han considerado en sus productos y que podemos aprovechar en nuestro proyecto. En la figura 2.7 se muestra un esquema del acoplamiento mencionado.

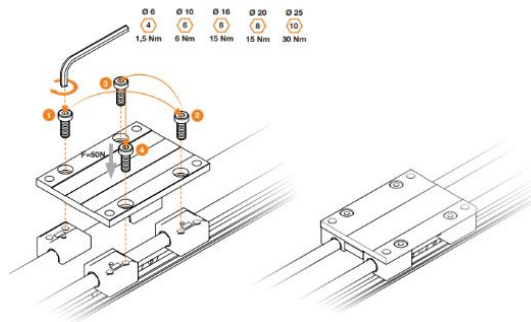


Figura 2.6 – Esquema de acoplamiento entre carro y guía

2.3.2 Ejes lineales

El desplazamiento de los carros debe realizarse con ayuda de un motor. La conversión del movimiento rotacional del motor se da con la ayuda de mecanismos que permitan pasar al movimiento lineal, dado que esto permitirá que el desplazamiento a lo largo de las guías sea controlado. El eje lineal consta de un sistema de poleas, correa dentada, carro guía, ejes sin fricción y motor en un solo dispositivo. Por lo general los fabricantes los venden ya testeados de manera que la elección de un eje lineal se reduce a los requerimientos que obedecen a: longitud a cubrir, velocidad de movimiento. Al considerar estos dos parámetros indirectamente debemos realizar un análisis técnico de las especificaciones del motor, longitud de eje y superficie del carro guía.

Es importante mencionar que se hará uso de motores de paso ya que son los únicos que permitirán desplazarnos a lo largo del eje lineal con la precisión que demanda el movimiento de la bombilla que simulará el sol.



Figura 2.7 Eje lineal



Figura 2.8 – Motor de paso

Eje lineal			
Características	Carga nominal	Precisión	Velocidad
Detalle	20 [Kg]	0.1 [mm]	2 [m/s]

Tabla 2-3 – Características del eje lineal

Motor									
Características	ϕ de paso	Precisión	T	I	Inercia	R	V	M	L
Detalle	20 [Kg]	5%	0.59 [Nm]	1.7 [A]	82 g·cm ²	1.8 Ohm	3.06 [V]	406 [g]	3.8 [mH] ± 20%

Tabla 2-4 – Características del motor de paso

2.3.3 Eje y tuerca deslizante

En nuestro diseño hemos considerado movimientos lineales y rotacionales que en conjunto ayudarán a definir los puntos de incidencia del sol y viento. Algunos de estos movimientos no son comandados completamente por un motor. Si no más bien se deben realizar de forma manual. Por esta razón se hará uso de un eje y tuerca deslizante, los cuales en conjunto ayudarán a desplazar en un eje del espacio los componentes que requeriríamos. En nuestro proyecto acoplaremos tres de estos ejes con sus respectivas tuercas, de manera que los ejes lineales junto con los focos y los rieles en arco se muevan al mismo tiempo.

2.3.1 Chumaceras

El uso de rodamientos de piso o chumaceras es necesario para poder girar el riel circular que describirá uno de los movimientos para posicionar la bombilla.

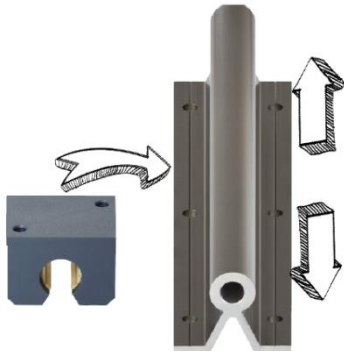


Figura 2.9 - Eje y tuerca deslizante



Figura 2.10 – Chumacera o rodamiento de piso

2.3.2 Yoyo retráctil

El uso de un yoyo retráctil es clave para la simulación del alba y ocaso del sol. La bombilla se desplazará a lo largo del riel circular con ayuda del eje lineal, pero para lograrlo es necesario la ayuda de otra componente que permita transformar dicho movimiento. El yoyo retráctil permite realizar movimientos lineales soportando el peso en un otro extremo y brindando una tensión proporcional en el otro. Esto hace que sea fácil sostener una carga en un punto sin necesidad de otra fuerza externa, minimizando las componentes y ahorrando espacio físico.



Figura 2.11 -Yoyo Retráctil

Yoyo Retráctil	
Características	Detalle
Longitud	80 [cm]
Tipo de cuerda	Alambre de acero
Grosor de la cuerda	0,8 mm
Diámetro del soporte	3,8 cm

Tabla 2-5 – Características del Yoyo Retráctil

2.4 Incidencia de ventilación

Uniando algunos de los componentes mencionados anteriormente es posible lograr una incidencia de ventilación similar al de la figura 2.9. Prestando atención a la figura 2.8 notamos que tal incidencia se lograría montando los ventiladores A.1 y A.2 sobre un eje deslizante B, el cual se fija en el carro C. El riel D se acopla al carro C de manera que permite un giro de 360° alrededor del prototipo de edificio E.

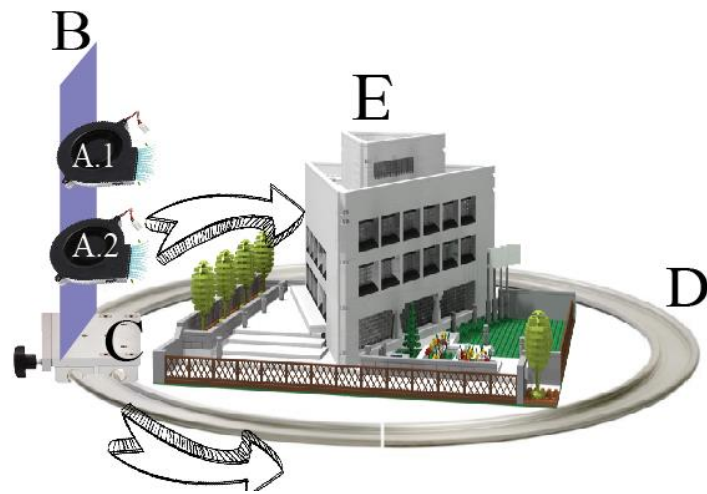


Figura 2.12 – Collage que muestra la representación de cómo se llevaría a cabo el movimiento para la ventilación.

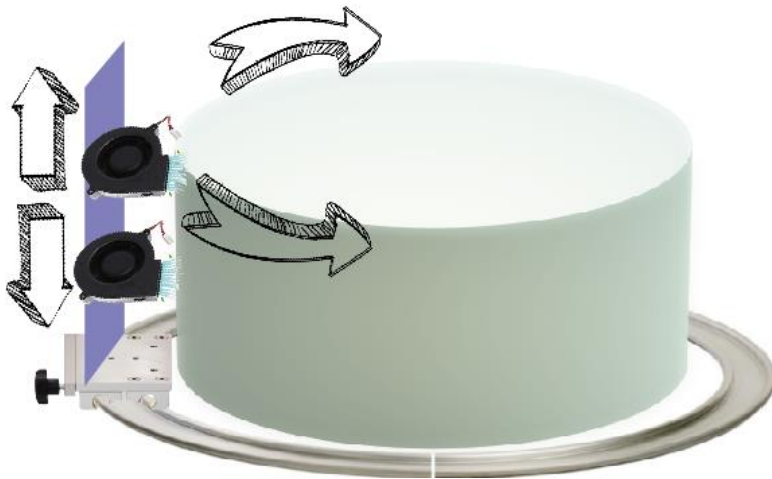


Figura 2.13 – Espacio tridimensional que representa todos los puntos de incidencia del flujo de aire con el sistema diseñado

2.5 Incidencia Solar

Uno de los retos de este proyecto fue lograr los ángulos de incidencia necesarios para aproximarnos al movimiento solar ya sea en horas del día como en estaciones del año. Es de conocimiento general que el movimiento del sol describe órbitas elípticas alrededor de nuestro planeta quien también se encuentra en rotación. Estos movimientos astronómicos repercuten en la superficie de manera que, en nuestra perspectiva, vemos al sol salir de un extremo y esconderse en otro. Para simular tal movimiento de manera que se logren esos ángulos de incidencia se hizo uso de carros móviles guiados por rieles curvos, ejes lineales, motores, rodamientos y yoyos retráctiles. Componentes que, en complemento, logran que la edificación se exponga a ángulos similares a los de la figura 2.4

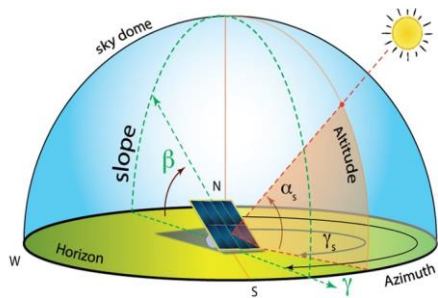


Figura 2.14 – Ángulos de incidencia solar sobre un objeto

En la figura 2.15 se explica uno de los movimientos para la posición de la bombilla. En la tabla 2.6 se detallan las componentes a usar.

Movimiento	
Letra	Componente
F	Carro guía H
G	Acople metálico
H	Riel circular 1
I	Riel circular 2
J.1	Chumacera 1
J.2	Chumacera 2

Tabla 2-6 –Componentes usadas para el movimiento

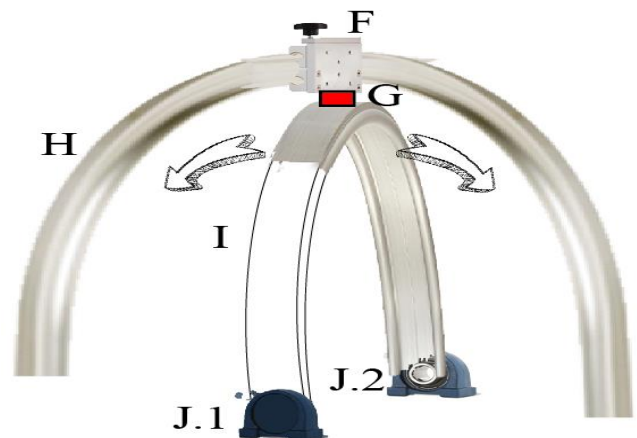


Figura 2.15 – Uso de las guías y chumaceras

Luego de ubicar la posición requerida en la guía “H”. Será necesario ubicar a la bombilla en la guía “I” que se encuentra sobre el carro M Para lograrlo se hace uso del eje lineal K y el yoyo retráctil L. En la figura 2.16 se muestra un esquema de como irían acopladas las componentes para el uso de una bombilla. La estructura en realidad está diseñada para mover dos bombillas. Esto se representa en la figura 2.17 donde se aprecian dos ejes lineales.

Movimiento	
Letra	Componente
K	Eje lineal
L	Yoyo retráctil
M	Carro guía 1
N	Bombilla
I	Riel circular 2



Tabla 2-7. Componentes usadas para el movimiento

Figura 2.16 – Uso del eje lineal y el yoyo retráctil

Finalmente, es necesario que los ejes lineales reposen sobre una base, dicha base debe estar conectada directamente con el carro guía F de manera que la bombilla N, el yoyo L y el eje lineal K siempre estén alineados, aun cuando se dé el movimiento de la figura 2.15.

En la figura 2.17 se muestra de qué manera se alinean las componentes mencionadas anteriormente empleando ejes deslizantes de dos metros de largo con sus respectivas tuercas. Estas tres tuercas deslizantes también se alinearán con lo ya mencionado antes. La barra que conecta a los 3 ejes deslizantes servirá de apoyo para que repose el eje lineal, ya que este también deberá moverse conforme se realice el desplazamiento sobre el riel H

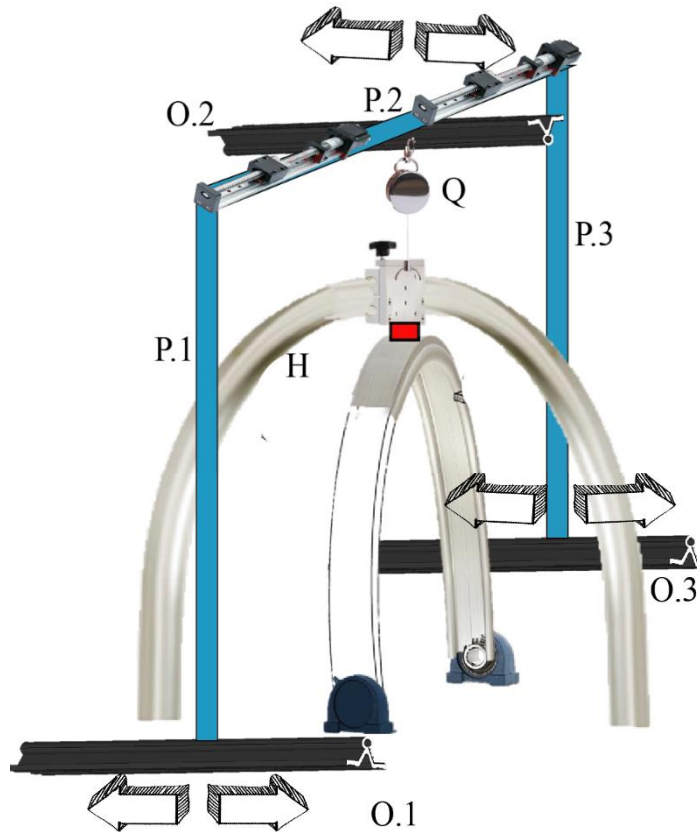


Figura 2.17 – Uso de tres ejes deslizantes y vista total del diseño para el movimiento solar

2.6 Motor y driver

Para poder controlar el motor de paso con el Arduino NANO, necesitaremos hacer uso del driver A4998. En la figura 2.18 se muestra el diagrama de conexiones con el A4988 mientras que en la tabla 2.8 se detallan los pines de la tarjeta.

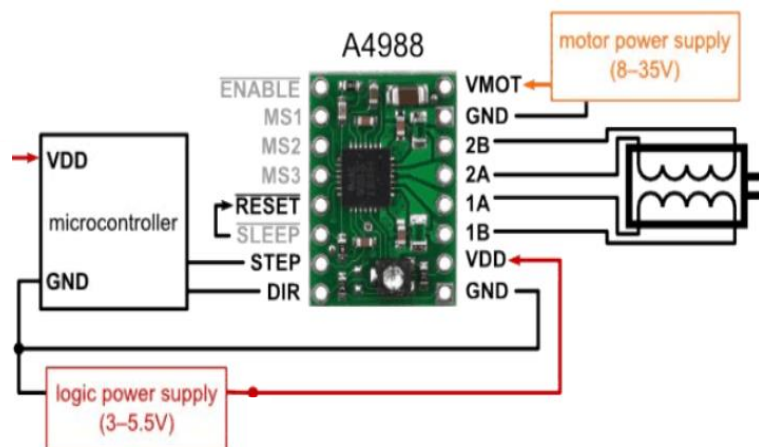


Figura 2.18 – Esquema de conexión del driver del motor

Digital		Potencia	
Enable	Habilita motor	VMOT	Alimentación motor
MS1	Configuración de pasos	GND	Ground motor
MS2	Configuración de pasos	2B	Bobina 2
MS3	Configuración de pasos	2A	Bobina 2
Reset	Reestablecer valores	1A	Bobina 1
Sleep	Descanso motor	1B	Bobina 1
Step	Un paso por pulso	VDD	Alimentación digital
Dir	Dirección de giro	GND	Ground digital

Tabla 2-8 – Detalle de los pines del driver A4988

2.7 Instrumentación

Aquí se determinaron las variables a analizar para hacer una correcta selección de los sensores con base en los requerimientos y alcance del proyecto. Las variables seleccionadas fueron: humedad relativa, temperatura, luminosidad y flujo de aire. Considerando que existe una amplia gama de sensores tanto digitales como analógicos, se considerará una unidad de control que pueda receptor ambos tipos de señales para evitar el uso de convertidores adicionales.

2.7.1 Unidad de control

Como controlador tenemos 2 opciones: Arduino Mega o Raspberry Pi3. A parte de estas 2 unidades de control, inicialmente se consideró el uso de una FPGA, debido a la ventaja de poder realizar una programación paralela, pero debido a su elevado costo fue descartada. Se comparó las características más relevantes para la selección:

	Arduino Mega 2560	Raspberry Pi3
<i>Voltaje de entrada Pines</i>	5 V	3.3 V
<i>Corriente máxima</i>	50 mA	16 mA
<i>Resolución ADC</i>	10 bits	No posee
<i>Precio</i>	\$15	\$75

Tabla 2-9. Características Arduino Mega 2560 y Raspberry Pi3

Dado que las Raspberry a pesar de ser una herramienta más potente para IoT, en este caso su falta de ADC y elevado precio nos hace optar el uso del Arduino Mega 2560 en su lugar.

2.7.2 Conexiones y simulación

El controlador se encontrará en la parte exterior de la maqueta, y se conectará con el software LabVIEW mediante comunicación serial, la lectura de los sensores de los 10 cuartos, se realizarán mediante una multiplexación para solucionar el inconveniente de no poder realizar una programación en paralelo para medir las variables al mismo tiempo todos los sensores.

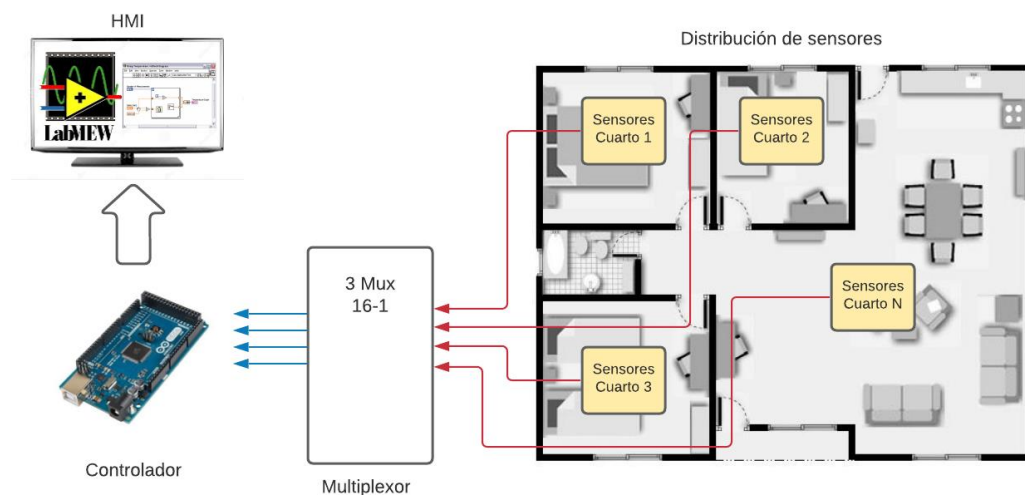


Figura 2.19 – Esquema de solución propuesta.

De cada cuarto se enviarán las 3 señales de los sensores, las cuales llegan a cada una de las entradas de los diferentes MUX, cuyas entradas selectoras estarán comandadas por la señal ABC enviada por los 3 pines digitales del controlador. La salida de cada MUX tendrá la información del sensor del cuarto que se esté muestreando al momento y será receptada por el controlador. Las entradas que no estén siendo utilizadas de los MUX serán aterrizadas para evitar interferencias o ruido.

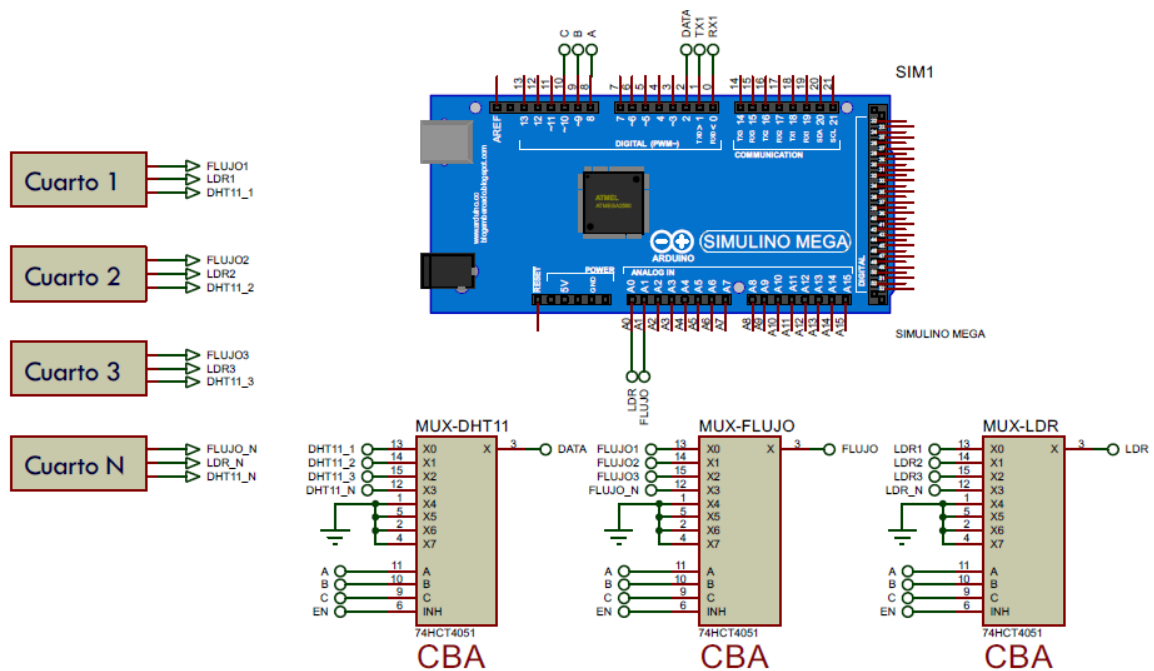


Figura 2.20 – Conexión con arduino.

Debido a la dificultad para conseguir los materiales en medio de la pandemia que estamos atravesando, el proyecto únicamente lo simularemos utilizando los Softwares: Proteus, LabVIEW y VSPE.

En Proteus diseñamos las conexiones entre los diferentes elementos y comprobar la viabilidad de realizar la multiplexación de los diferentes cuartos, también se envía los datos al controlador.

Mediante el software VSPE se crea un puerto serial virtual para comunicar Proteus con LabVIEW para la transmisión de la información.

2.7.3 Programación (Micro)

El código del controlador consta de 3 partes principales:

La primera es la salida de los pines 8,9 y 10 como selectora para el MUX, el cuál irán alternando 300 ms, representando de esta forma desde el cuarto 1 al cuarto 10. La segunda, es la lectura de los sensores, y finalmente la conversión de estos datos a string para poder ser enviados por comunicación serial a LabVIEW.

- | | | |
|----|-------------|---------------------|
| 1. | /* | PROYECTO INTEGRADOR |
| 2. | * | CASA DOMÓTICA |
| 3. | * AUTORES : | |
| 4. | * | PATRICIO PALOMEQUE |

```

5.  *           BRYAN MORÁN
6.  * INSTRUCTOR:
7.  *
8.  */
9.
10. /* INFORMACIÓN A TENER EN CONSIDERACIÓN
11.  DECLARACIÓN DE LAS VARIABLES
12.  SENSORES:
13.      DHT11/ TEMPERATURA Y HUMEDAD
14.      LDR/ LUMINOSIDAD
15.      SENSOR DE FLUJO
16.  ORDEN DE LA CADENA DE STRING:
17.      "CUARTO, TEMPERATURA, HUMEDAD, LUMINOSIDAD, FLUJO"
18.  LA CADENA DE STRING DEBE DE TENER RELACIÓN CON LO QUE SE
    TIENE EN LABVIEW
19.  */
20.
21.  // ----- LIBRERIAS -----
22.  #include <DHT.h>
23.  // ----- VARIABLES -----
24.  // --VARIABLES DEL DHT11-----
25.  #define DHTPIN 2 // PIN DE DATO
26.  #define DHTTYPE DHT21 // TIPO DE SENSOR
27.  // CREACIÓN DEL OBJETO DHT
28.  DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
29.
30.  // --VARIABLES DE LECTURA ANALOGICA-----
31.  int ValorA0;
32.  int ValorA1;
33.  // --VARIABLES MAPEADAS-----
34.  float TEMPERATURA;
35.  float HUMEDAD;
36.  float LUMINOSIDAD;
37.  float FLUJO;
38.  // --CADENA DE CARACTERES-----
39.  String CADENA;
40.
41.  void setup() {
42.  // INICIALIZACIÓN DEL SERIAL
43.  Serial.begin(9600);
44.  // INICIALIZACIÓN DEL OBJETO DHT11
45.  dht.begin();
46.  // DEFINIR LAS VARIABLES DE ENTRADAS ANALÓGICAS
47.  pinMode(A0, INPUT);
48.  pinMode(A1, INPUT);
49.  // DEFINIR VARIABLES DE SALIDAS PARA MUXES
50.  pinMode(8, OUTPUT); // A
51.  pinMode(9, OUTPUT); // B
52.  pinMode(10, OUTPUT); // C
53.  }
54.  // CONSIDERACIÓN PARA GENERAR LAS ACTIVACIONES DEL MULTIPLEXADOR
55.  /* TABLA DE VALORES MUX
56.  *   C B A | F
57.  *   -----
58.  *   0 0 0 | E0
59.  *   0 0 1 | E1
60.  *   0 1 0 | E2
61.  *   0 1 1 | E3
62.  *   1 0 0 | E4
63.  *   1 0 1 | E5
64.  *   1 1 0 | E6

```



```

65.  * 1 1 1 | E7
66.  */
67.
68.  // -----
69.  // ----- MAIN -----
70.  // -----
71.
72.  void loop() {
73.  for (int i =1;i<=8;i++){
74.    int CUARTO = i;
75.    // CASO DE CADA CUARTO PARA EL MUX
76.    if (i == 1){
77.      digitalWrite(8,LOW);
78.      digitalWrite(9,LOW);
79.      digitalWrite(10, LOW);
80.    }
81.    if (i == 2){
82.      digitalWrite(10,LOW);
83.      digitalWrite(9,LOW);
84.      digitalWrite(8, HIGH);
85.    }
86.    if (i == 3){
87.      digitalWrite(10,LOW);
88.      digitalWrite(9,HIGH);
89.      digitalWrite(8, LOW);
90.    }
91.    if (i == 4){
92.      digitalWrite(10,LOW);
93.      digitalWrite(9,HIGH);
94.      digitalWrite(8, HIGH);
95.    }
96.    if (i == 5){
97.      digitalWrite(10,HIGH);
98.      digitalWrite(9,LOW);
99.      digitalWrite(8, LOW);
100.   }
101.   if (i == 6){
102.     digitalWrite(10,HIGH);
103.     digitalWrite(9,LOW);
104.     digitalWrite(8, HIGH);
105.   }
106.   if (i == 7){
107.     digitalWrite(10,HIGH);
108.     digitalWrite(9,HIGH);
109.     digitalWrite(10, LOW);
110.   }
111.   if (i == 8){
112.     digitalWrite(10,HIGH);
113.     digitalWrite(9,HIGH);
114.     digitalWrite(8, HIGH);
115.   }
116.   delay(50); // ESPERAR PARA QUE SE DE LA MULTIPLEXACIÓN
117.   // LECTURA DEL DHT11
118.   float t = dht.readTemperature(); // TEMPERATURA
119.   float h = dht.readHumidity(); // HUMEDAD RELATIVA
120.   TEMPERATURA = t;
121.   HUMEDAD = h;
122.   delay(50);
123.   // LDR
124.   ValorA0 = analogRead(A0);
125.   //Serial.println(ValorA0);

```

```

126. LUMINOSIDAD = map(ValorA0, 0, 1023, 0, 10);
127. delay(20);
128. // FLUJO
129. ValorA1 = analogRead(A1);
130. FLUJO = map(ValorA1, 0, 1023, 0, 10);
131. delay(20);
132. CADENA =
    String(String(CUARTO, DEC)+' ',''+String(TEMPERATURA, 2)+' ',''+String(HUMEDAD,
    2)+' ',''+String(LUMINOSIDAD, 2)+' ',''+String(FLUJO, 2));
133. Serial.println(CADENA);
134. delay(160);
135. // POR CADA CICLO SE TARDA 300 MS --- EN LOS 10 CUARTOS SE DAN 3
    SEGUNDOS
136. }
137. }

```

2.7.3.1 Interfaz

LabVIEW permite un desarrollo sencillo de interfaces, para esta consideramos que se presentará un menú principal del cual nos podremos redirigir a una pantalla principal y otra de información de desarrollo. En la pantalla principal se muestra cada uno de los cuartos, y algún mecanismo para seleccionar que cuartos se estará realizando el monitoreo ya que no en todos los casos serán las 10 habitaciones a la vez.

De la misma forma visualizaremos la información de forma gráfica del cuarto en cuestión que se seleccione al momento, así también los datos monitoreados se almacenan en un documento de texto. El proyecto fue desarrollado en una interfaz gráfica de LabVIEW, empleando una comunicación serial con Arduino, el cual fue simulado mediante el software Proteus. Para la interfaz gráfica se la desarrolló en un proyecto de LabVIEW, en él se encuentran los siguientes Instrumentos Virtuales (VI):

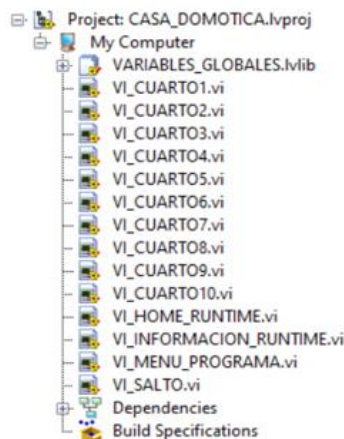


Figura 2.21. Explorador de proyecto de LabVIEW

En la ilustración anterior, se logra apreciar que se tienen: 1 VI para el inicio del programa (VI_MENU_PROGRAMA), 1 VI dedicado para información del proyecto (VI_INFORMACION_RUNTIME), 1 VI para realizar la apertura de otro VI (VI_SALTO), 1 VI para el procesamiento de la información (VI_HOME_RUNTIME), 10 VI para la visualización de la información de cada uno de los cuartos (VI_CUARTO) y una librería en la cual se encuentran las variables globales del proyecto.

A continuación, se describe el funcionamiento de cada uno de los diagramas de bloques, así como de los paneles frontales.

Variables globales

Para hacer la transferencia de información de los parámetros a cada uno de los cuartos, y el almacenamiento respectivo en cada uno de los blocks de notas, se emplean variables globales, las mismas que se muestran a continuación:

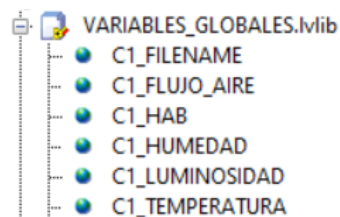


Figura 2.22. Variables Globales

En la ilustración anterior, se aprecia las variables empleadas para un solo cuarto, en cual se encuentran los parámetros de Flujo de aire, Humedad, Luminosidad y Temperatura, variables medidas por el Arduino, y las variables auxiliares del archivo de texto que se ha generado para el almacenamiento en ese cuarto, y el booleano para determinar si se encuentra habilitada la lectura del cuarto.

Las variables anteriores se las replica 10 veces, para cada uno de los cuartos, teniendo una librería de 60 variables globales. Las mismas variables que se encuentran descritas como variables de proceso simple, con lo cual solo el usuario pueda acceder.

Instrumento Virtual de Salto

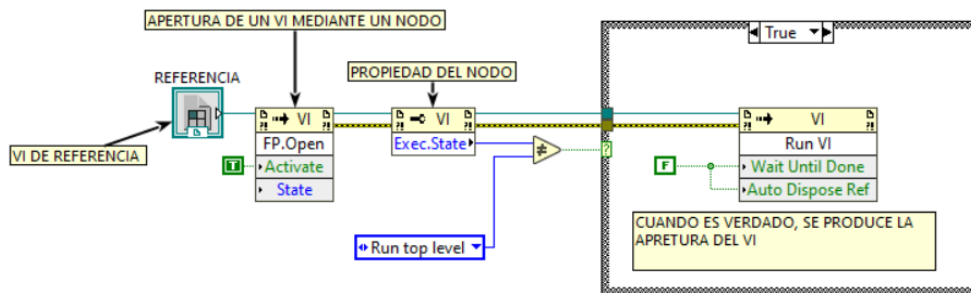


Figura 2.23. Diagrama de bloque del VI de Salto

Para poder hacer que un VI corra, cuando se ha presionado un interruptor, se debe realizar un nodo de invocación, tal como se lo presenta en esta sección. Primero se debe de establecer una referencia estática, esta referencia es la que se indicará en un programa principal. Se le indicará que propiedad tendrá la referencia, mientras esta referencia establecida no se esté ejecutando, se accede al caso True del caso, que es en el cual se debe de establecer una propiedad del VI, que es este caso será el de ejecución.

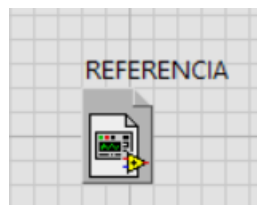


Figura 2.24. Panel frontal del VI de salto.

En el Panel Frontal solo se encuentra la referencia estática, la cual se debe enlazar con uno de los puntos de entrada del Vi, de tal forma que permita realizar comunicación entre otros bloques.

Instrumento Virtual de Menú

Una vez que se ha ejecutado el programa, la primera Interfaz que se presenta al usuario será la que se encuentra a continuación:



Figura 2.25. Panel frontal de VI de Menú.

En esta ventana, se tiene tres opciones:

- HOME: Permite acceder al procesamiento de las señales de control de los cuartos.
- INFORMACIÓN: Permite acceder a la información de desarrollo del proyecto.
- EXIT: Permite finalizar el programa.

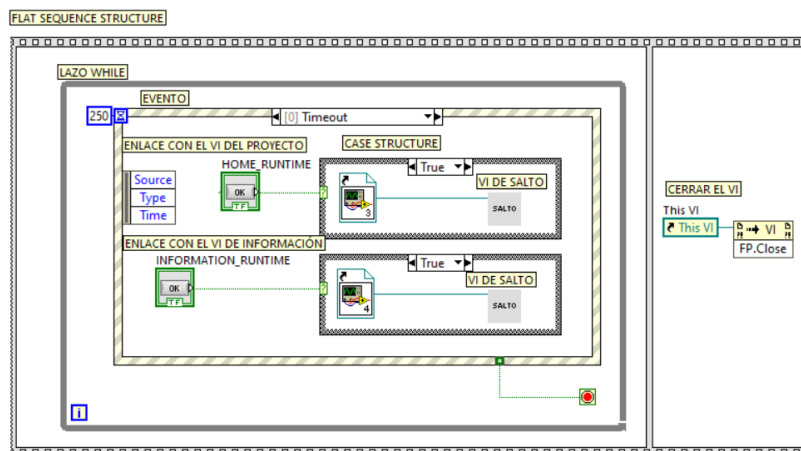


Figura 2.26. Diagrama de bloques del VI del Menú.

Para poder ejecutar el programa de tal forma, se estableció una estructura de secuencia, en la cual mientras no se haya presionado el botón exit, el programa continúa indefinidamente.

Para poder determinar cuál botón se ha presionado y activar uno de los cuartos, se implementado una estructura de Evento, en la cual cuando se presione uno de los botones del menú se accederá al VI de Salto que permite activar la referencia estática. En este caso existen dos casos, uno para el HOME y otro para

la información. Una vez que se haya presionado EXIT, se pasará a la siguiente secuencia, y en la cual se establece la propiedad del VI para cerrarlo.

Instrumento Virtual de Información

Cuando uno ha presionado el botón de INFORMACIÓN, se accede a la ventana de la ilustración anterior. En la cual se observa información de los autores.

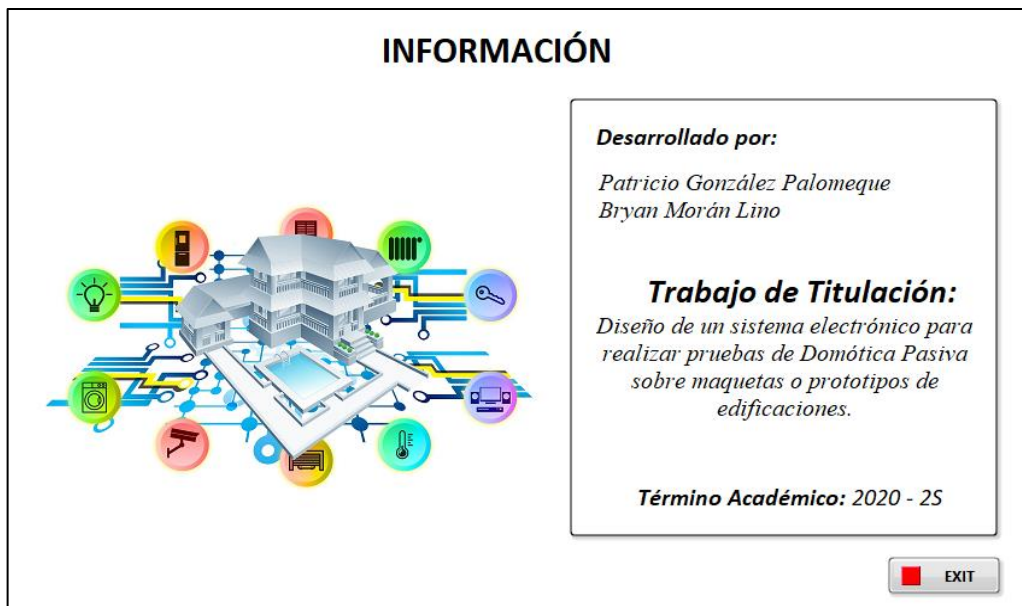


Figura 2.27. Panel frontal del VI de información.

Para la ejecución del VI de Información, solo se requieren de dos estructuras, un evento de secuencia, y un lazo while, mientras no se presione el botón EXIT, el programa continuará ejecutándose. En el caso de que sea presionado, se pasa al siguiente frame, en el cual se activa le da la propiedad al VI de cerrar el Panel Frontal.

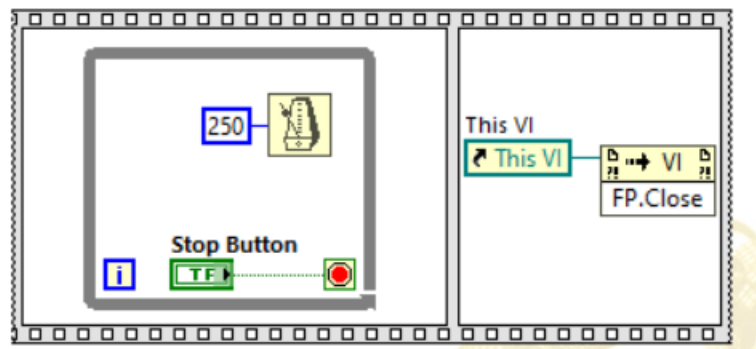


Figura 2.28. Diagrama de bloques del VI de información

Instrumento Virtual de Procesamiento

En el VI de procesamiento se realiza tanto la recepción de los datos en forma serial del Arduino, se lo separa y se lo envía a las distintas variables del proceso. Cuando se ejecuta el VI de HOME_RUNTIME, el siguiente Panel Frontal es lo que vería el usuario.

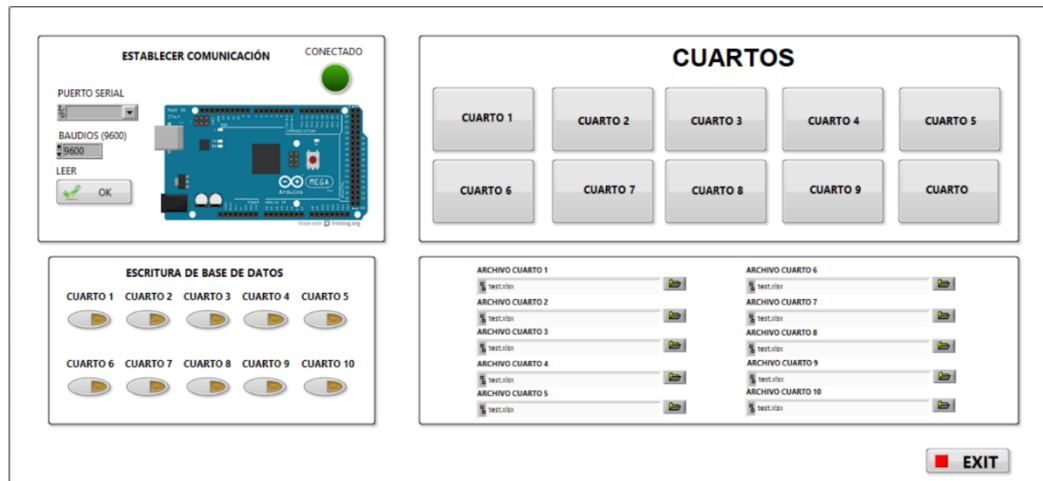


Figura 2.29. Panel frontal del VI de procesamiento.

A continuación, se detallan las funciones que se pueden realizar con cada una de las etapas internas.

- En el bloque de la izquierda se realiza la comunicación con el Arduino, es posible establecer el puerto serial y la velocidad de transferencia, sin embargo, para que el programa pueda ejecutar correctamente la lectura con el Arduino, es necesario de observar mediante el Led si no hay problemas de conexión, información que se obtiene del status de la señal de error que proviene del diagrama de bloque. Una vez determinado que no existen errores, se presiona el interruptor de lectura.
- En el bloque superior de la derecha, se incluyen 10 botoneras que permiten establecer el enlace con cada uno de los cuartos, en los cuartos tal como se muestra en la siguiente sección se encuentra la respuesta dinámica de las variables.
- En el recuadro inferior de la izquierda se encuentran 10 interruptores, los mismo que deben de ser presionados para permitir el almacenamiento de la información en un archivo de texto. Se ha establecido la condición que este botón debe de estar activo para realizar la lectura de la información desde el cuarto respectivo.

- En el último recuadro, el bloque de la derecha inferior se encuentra el espacio para realizar el direccionamiento de donde se van a ir almacenando los archivos de texto, con la información de cada uno de los cuartos.

Para poder realizar las acciones descritas anteriormente, se realizó la siguiente programación:

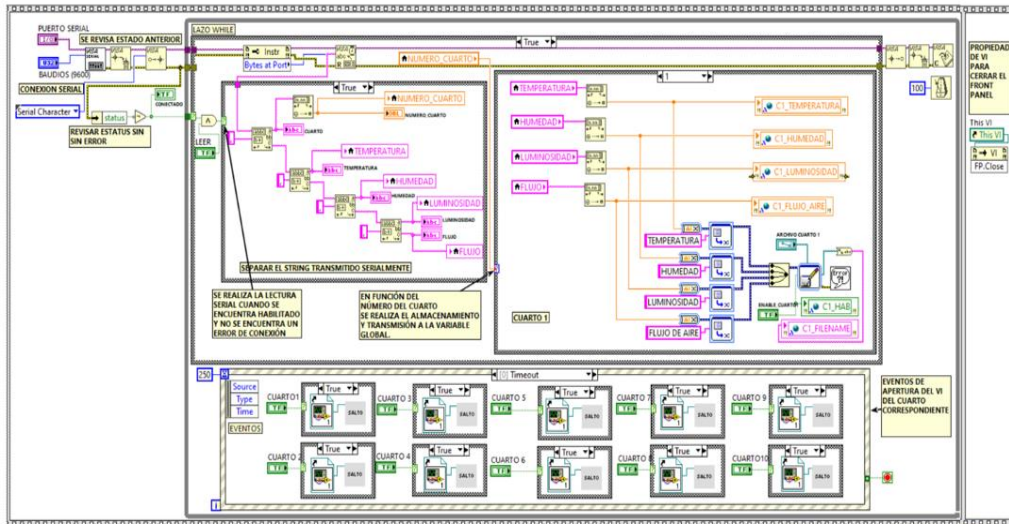


Figura 2.30. Diagrama de bloques del VI de procesamiento

Para poder explicar el diagrama de bloques se particionará el espacio, y se irá mencionando por etapas. Sin embargo, tal como se ha realizado en los programas previos, se posee la etapa de secuencia, la cual se la emplea para poder realizar el cierre del programa una vez que se halla presionado la tecla exit del Panel Frontal.

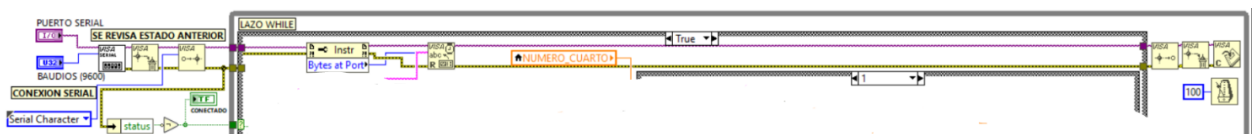


Figura 2.31. Comunicación Serial

Para poder establecer la comunicación serial, se empleó la programación que se observa en la imagen anterior.

Para otro proceso que se desea realizar con LabVIEW, es necesario de establecer un inicio y un cierre de la comunicación. El mismo proceso que se debe de realizar fuera del bloque While.



Figura 2.32. Establecer la comunicación

Para poder establecer la comunicación serial, se emplearon los bloques de VISA:

- VISA Configure Serial Port: el cual mediante un control el usuario establece el puerto serial, y los baudios de transmisión.
- VISA Discard Events: Para revisar si no existen eventos seriales pendientes.
- VISA Enable Event: Permite revisar el evento nuevo de transferencia, para el mismo se establece, que este nuevo evento, poseen caracteres seriales.

Se observa que los tres bloques mencionados, se encuentran interconectados mediante dos cables, el primero que es el cable de datos y el segundo que es el cable de error.

Para poder ingresar a las lecturas de la variable, se revisa el status del error, con lo cual, si no hay comunicación, no permite ingresar al bloque de control. Esta información ingresa al lazo while, y es procesada de la siguiente forma:



Figura 2.33. Procesamiento del dato serial

Se revisa la información existente en el puerto, y mediante el bloque VISA Read, se obtiene el string que se ha enviado desde el Arduino, dicho string se lo procesará de la forma que posterior mente se lo indicará.



Figura 2.34. Cerrar comunicación serial.

Una vez finalizada la comunicación se debe de realizar la finalización del mismo.

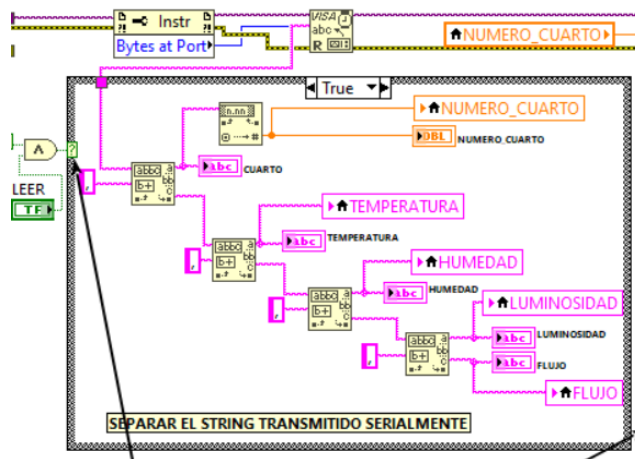


Ilustración 1. Procesamiento del String.

El string que se obtiene de la etapa anterior, es transmitido a una estructura Case, la cual se ingresa siempre y cuando no exista problema de comunicación. El string ingresa a la estructura, y mediante el bloque Match Pattern, se va separando el contenido, proviene del Arduino y se encuentra estructurado de la siguiente forma: “CUARTO, TEMPERATURA,HUMEDAD,LUMINOSIDAD,FLUJO” Mediante el bloque mencionado, se observa y se separa la informa antes y después de un elemento, en este caso, se lo realiza mediante una coma “,”. Debido a que lo que se obtiene es una coma, se debe de convertirlo en un valor entero, para lo cual se emplea el bloque Fract/Exp String to Number. El valor de cada una de las variables es enviado a cuatro variables locales.

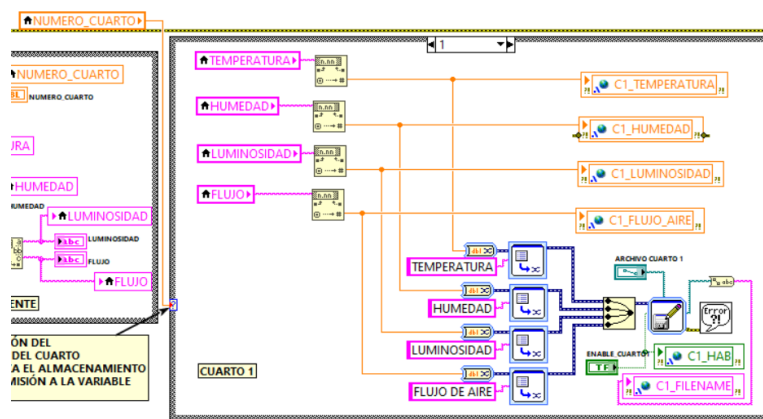


Figura 2.35. Estructura Case para almacenamiento de información.

En la estructura Case, que se muestra en la figura anterior, se dan los 10 casos para los cuartos que se poseen, tal como se observa a continuación.

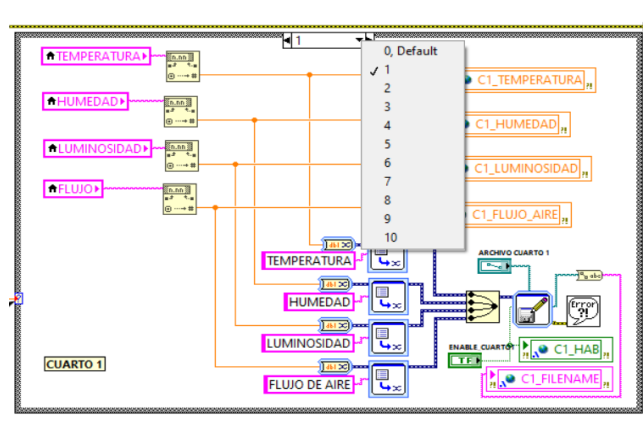


Figura 2.36. Diez casos presentes en el Case.

Los valores que ingresan a la estructura son las variables locales que provienen del seccionamiento del string de la transmisión serial. Cada uno de estos valores son convertidos en valores enteros de la misma forma que se lo realizó con el número del cuarto. El número convertido primero se lo envía a una variable global que se encarga de mostrar en cada uno de los cuartos respectivos.

En segundo caso se realiza la escritura en un bloque de texto, para lo cual se lo multiplexa al dato, y se lo transmite al bloque Write to Measurement File, el que nos permite realizar la escritura en un archivo.

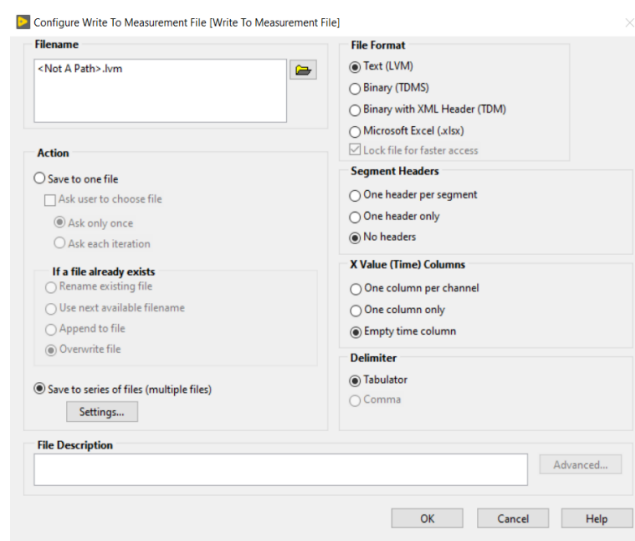


Figura 2.37. Propiedad del VI Express.

Para lo cual en la figura anterior se muestran las propiedades del bloque, se ha seleccionado para que el tipo de archivo se un LVM, que se trata de un archivo de texto, esto se lo realizó de esta forma para poder hacer la lectura de los datos escritos en el archivo.

El nombre del archivo generado se lo transmite también a una variable global, esto es debido a que para poder leer un archivo también se debe de indicar un archivo, para evitar que el usuario se dirija a la carpeta y seleccione el último archivo, se lo realizó de esta forma.

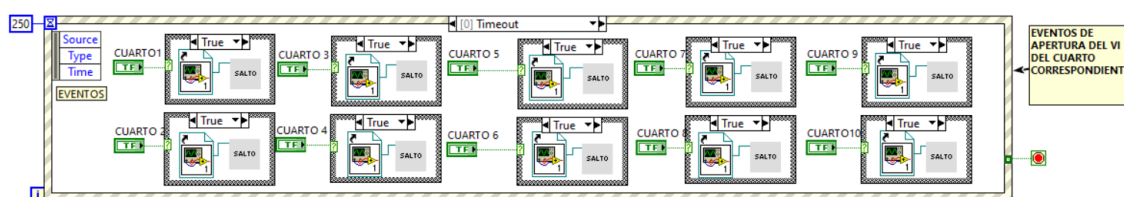


Figura 2.38. Evento de apertura de cada uno de los cuartos

Para poder ingresar y observar la información dinámica de los cuartos, es necesario de presionar un pulsador y con lo cual se aperture un nuevo VI, en este caso del cuarto seleccionado.

Se han establecido 10 casos, que es para cada uno de los cuartos. En este bloque también se ha establecido para que cuando se presione el pulsador EXIT, se genere el evento de cierre.

Cuando se presione el pulsador EXIT, se acaba el primer FRAME, y pasa al siguiente FRAME que se estableció en el Flat Sequence, que es en el que se le da la propiedad de cerrar el Panel Frontal del VI.

Instrumento Virtual de Cuartos

Para acceder al VI de cada uno de los cuartos, se lo realiza desde VI de procesamiento, VI_HOME_RUNTIME. Cuando se accede a uno de los cuartos se mostrará el siguiente Panel Frontal.

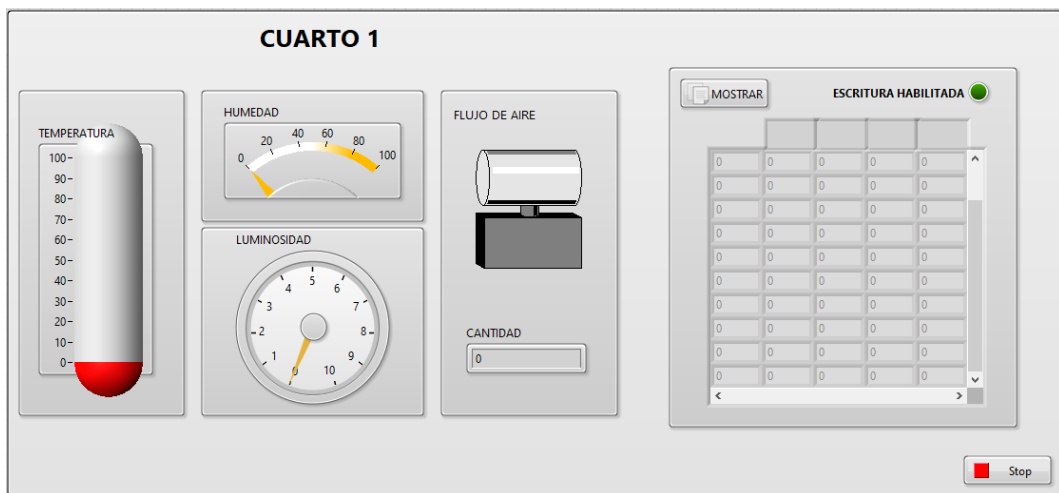


Figura 2.39. Panel frontal de VI del cuarto.

La información que se muestra es el nombre del cuarto, se muestra mediante indicadores los valores de las variables medidas por el Arduino.

En la parte de la derecha se muestra una ventada en la cual se muestran los valores almacenados en el archivo del Texto, y para poder mostrarlo es necesario primero de que la opción de escritura se encuentre habilitada, y, en segundo lugar, que se haya presionado el botón de MOSTRAR.

Para todo el procesamiento de los datos, se lo realizó mediante la siguiente programación en el diagrama de bloques del VI.

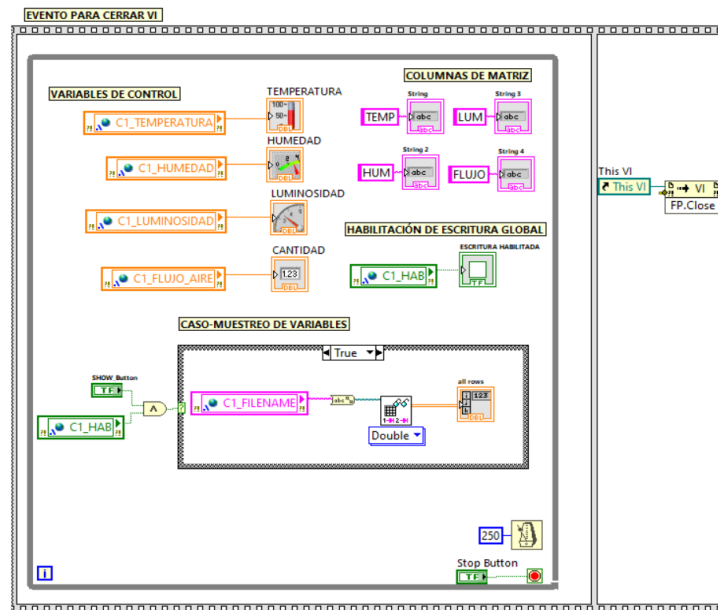


Figura 2.40. Diagrama de bloques del VI del cuarto 1.

Tal como se lo ha realizado previamente, se emplea un Flat Sequence, el cual posee dos Frames, en el primero se realiza el procesamiento y en el segundo se cierra el VI.

La variable global que hace referencia al cuarto en cuestión se la envía a cada uno de los indicadores numéricos.

Cuando se desea leer el archivo de texto que se ha generado desde el VI de procesamiento, es necesario haber presionado el botón de SHOW, seguido de que el valor del Booleano que proviene de una variable global, la cual se genera cuando se presiona el botón de Escribir desde el Panel Frontal del procesamiento.

Una vez que se cumple la condición, se procede a leer el archivo generado, para lo cual se emplea la variable global del nombre del archivo.

2.8 Red de sensores

2.8.1 Sensor de temperatura y Humedad relativa

En la amplia gama de sensores de temperatura encontrados, los parámetros a considerar para la selección fueron: rango de temperatura, tiempo de muestreo, precisión y precio. Para esto se realizó la comparación de los sensores: DHT11 y DHT21.

Al inicio se consideró utilizar 2 sensores diferentes para estas 2 variables, sin embargo, estos 2 sensores escogidos pueden realizar las mediciones de ambas variables al mismo tiempo, reduciendo de esta manera el uso de más sensores.

	<i>DHT11</i>	<i>DHT21</i>
<i>Rango de Temperatura</i>	0 a 50 °C	-40 a 125 °C
<i>Precisión Temperatura</i>	2 °C	0.5 °C
<i>Rango de Humedad</i>	20 a 80%	0 a 100%
<i>Precisión Humedad</i>	5%	2-5%
<i>Tiempo de muestreo</i>	1 Hz	2 Hz
<i>Precio</i>	\$2	\$8

Tabla 2-10. Característica DHT11 y DHT21

Debido a que se va a simular las condiciones climáticas del hogar, no es necesario abastecer un rango tan amplio de temperatura y humedad, por otro lado, a pesar de que las variaciones son ligeras y no bruscas se requiere de una precisión elevada de la temperatura y humedad, si bien el DHT11 posee un tiempo de muestreo muy buen además de un bajo costo, tiene como defecto una precisión de 2° C lo que puede producir conclusiones erróneas al momento de analizar los datos almacenados. Mientras el DHT21 posee un elevado precio en comparación al DHT11 (4 veces su precio) presenta una precisión más elevada y mayor tiempo de muestreo, por lo cual finalmente se decide utilizar el DHT21 para trabajar.

2.8.2 Sensor de intensidad lumínica

En la medición de la intensidad lumínica de los cuartos se escogió directamente el uso de una LDR, que, si bien no obtenemos un valor directo en unidades de luminosidad (Lux), realizamos una escala de 0 a 5 para calificar el rango de luminosidad siendo 0 poco iluminado y 5 muy iluminado, además de su bajo costo y fácil implementación para la medición respectiva.

2.8.3 Sensor de flujo de aire

Los sensores de flujo de aire tradicionales presentan 2 inconvenientes: requieren un flujo elevado para poder funcionar y son muy grandes para la maqueta. Además, se desea obtener la medición del flujo del aire, considerando

que este puede venir en cualquier dirección, y con intensidades muy bajas por lo cuál debe ser sensible a estas variaciones.

Por esto consideramos un elemento de resistencia variable susceptible al flujo de aire como RTD o NTC, sin embargo, estas no son tan sensibles para un cambio ligero en la brisa, así que finalmente se optó por utilizar el filamento de un bombillo como resistencia variable, debido a su alta susceptibilidad.

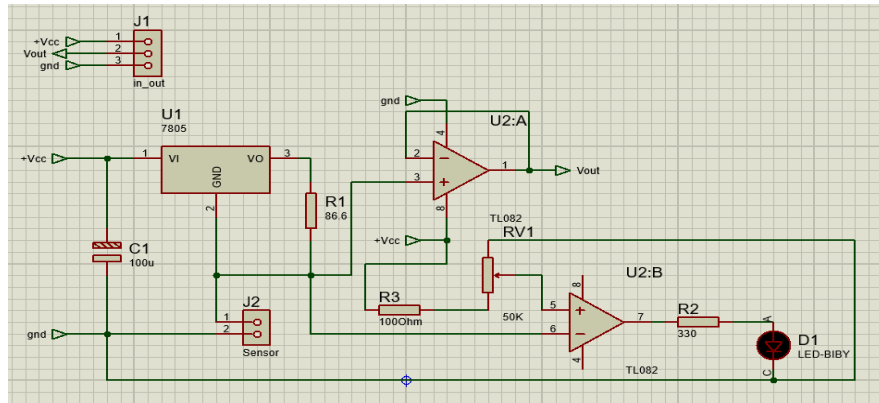


Figura 2.41. Diagrama esquemático del sensor de flujo de aire

El circuito deberá ser alimentado por una fuente externa de 12 V, y consta de un regulador de voltaje que será el encargado de actuar como fuente fija para el filamento, siendo la diferencia de potencial sobre este el valor deseado del sensor, para esto lo conectamos a un seguidor de voltaje para evitar el acople de impedancias y obtener puramente el voltaje del filamento. Adicional se tiene una pequeña etapa comparadora que se puede establecer a determinado valor para encender un led que nos indicará cuando el flujo esté por encima de ese valor.

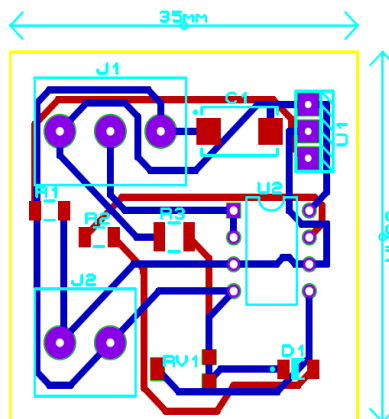


Figura 2.42. Diagrama esquemático del PCB

Debido a que se requirió minimizar el tamaño del sensor se utilizó un diseño de PCB a doble cara con componentes SMD. Adicional a esto, se ubicó borneras para la alimentación y salida, como también para conectar el filamento de la bombilla, de esta manera se puede ubicar el filamento alejado del circuito.

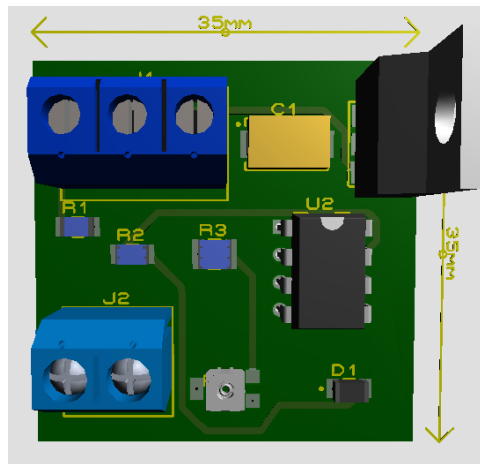


Figura 2.43. Modelo 3D del sensor

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Prototipado del proyecto

El esquema principal de todo el proyecto obedece al diagrama de la figura 3.1 La alimentación principal es AC la cual a su vez se conecta a una fuente DC la que alimenta a los microcontroladores MEGA y NANO. El Arduino MEGA se encarga de la comunicación entre los sensores y la PC mientras que el NANO manipula los movimientos mecánicos, intensidad de luz de la bombilla y ventiladores centrífugos.

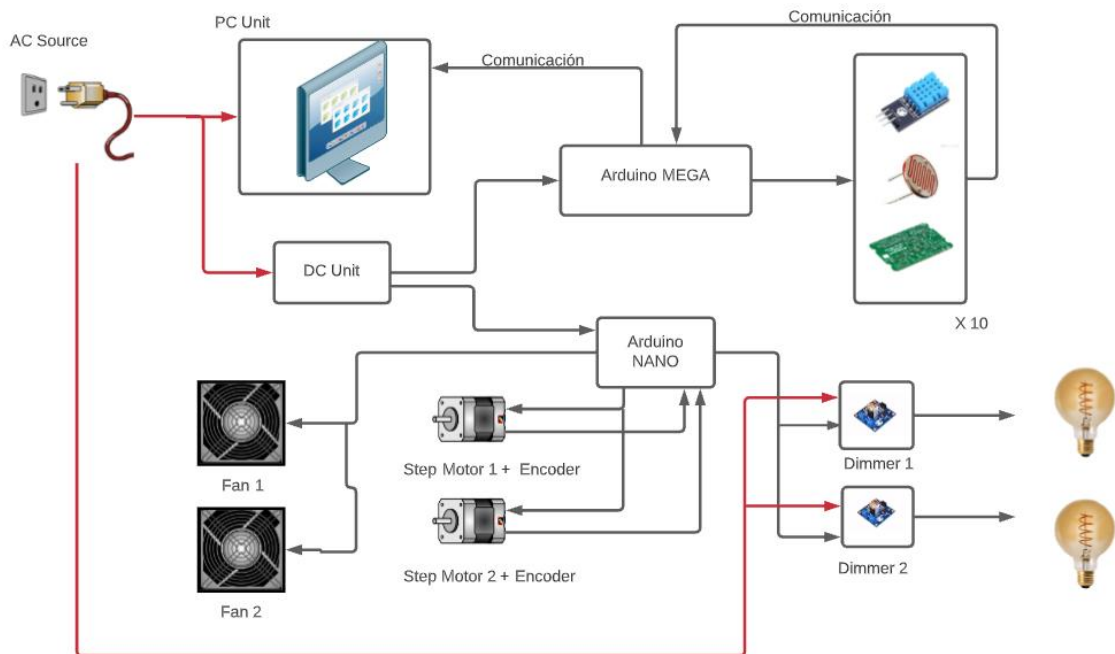


Figura 3.1. Diagrama principal del sistema

3.2 Modelado de la estructura

Los movimientos requeridos para este proyecto se esquematizaron en el capítulo 2 y obedecen a los diagramas de las figuras 2.15, 2.16 y 2.17. Con ayuda de FreeCAD, un software de simulación para modelado 3D, fue posible diseñar la estructura con medidas reales considerando la manera en la que se acopla cada componente.

En la figura 3.2 se muestra el modelado 3D de los movimientos explicados en el capítulo 2. En la parte superior los ejes lineales transcriben el movimiento de las bombillas a movimientos en arco. Los yoyos retráctiles son pieza clave para la traducción de este movimiento. Esto se aprecia en la figura 3.3

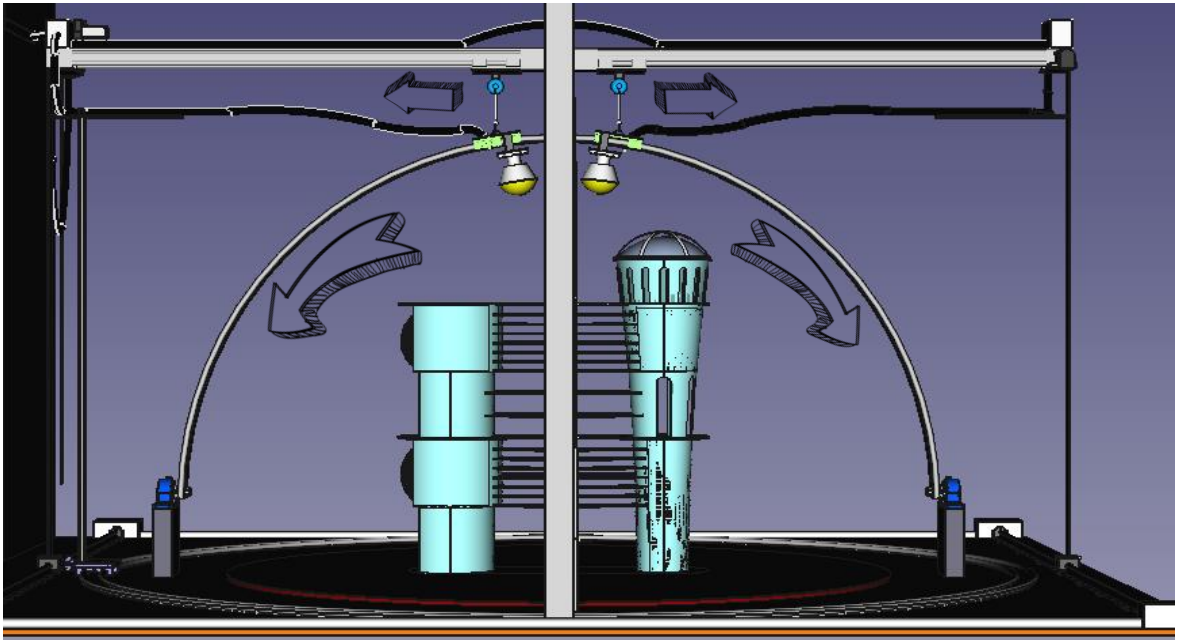


Figura 3.2. Vista lateral del sistema de rieles y guías. Movimiento para ubicar las bombillas en una trayectoria de arco

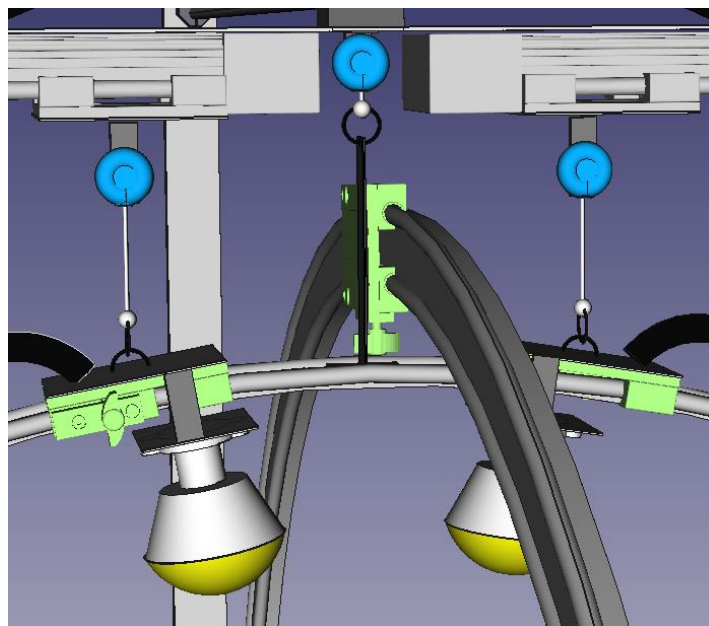


Figura 3.3. Uso de los yoyos retráctiles

Recordemos que el espacio incidente de calor y luz que se requiere abarcar es similar al de la figura 2.14 por lo que una vez mostrados los resultados del movimiento anterior mostramos en la figura 3.4 el movimiento complementario a este, el cual completa el espacio en semiesfera pensado para el diseño.

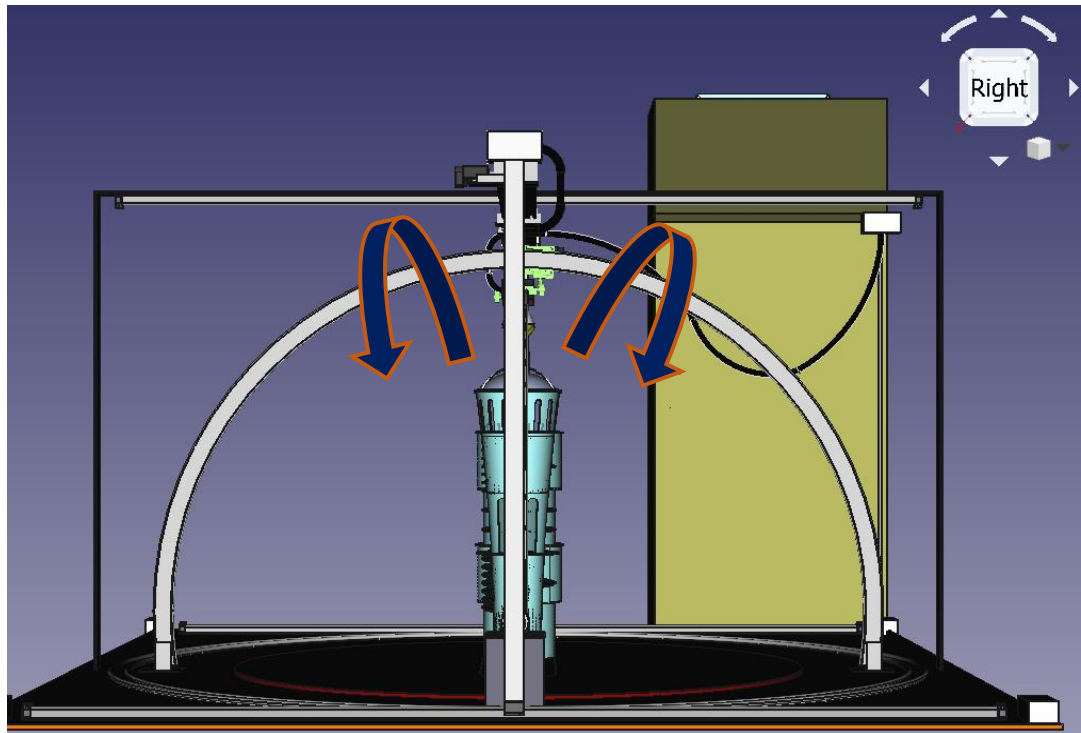


Figura 3.4. Vista lateral del sistema de riel y guías. Movimiento para ubicar las bombillas en el espacio de una superficie esférica.

En la figura 3.5 se muestran los ventiladores centrífugos y sus sistemas de rieles.

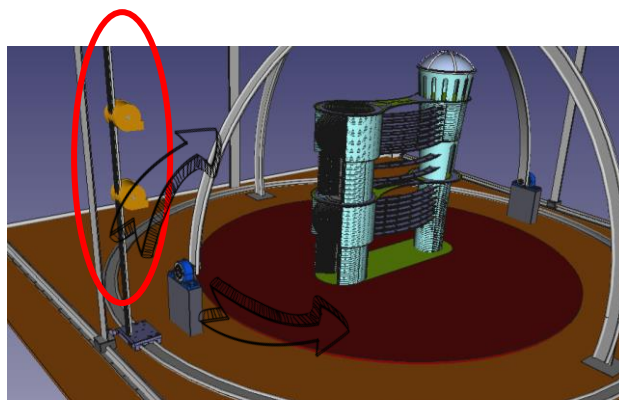


Figura 3.5. Vista isométrica donde se observan los rieles para la ventilación

Finalmente, en la figura 3.5 se muestra el puesto de control donde tenemos la PC, fuente de alimentación y los microcontroladores, en esta zona el usuario podrá monitorear el proceso de recreación de condiciones climáticas y los datos recolectados.

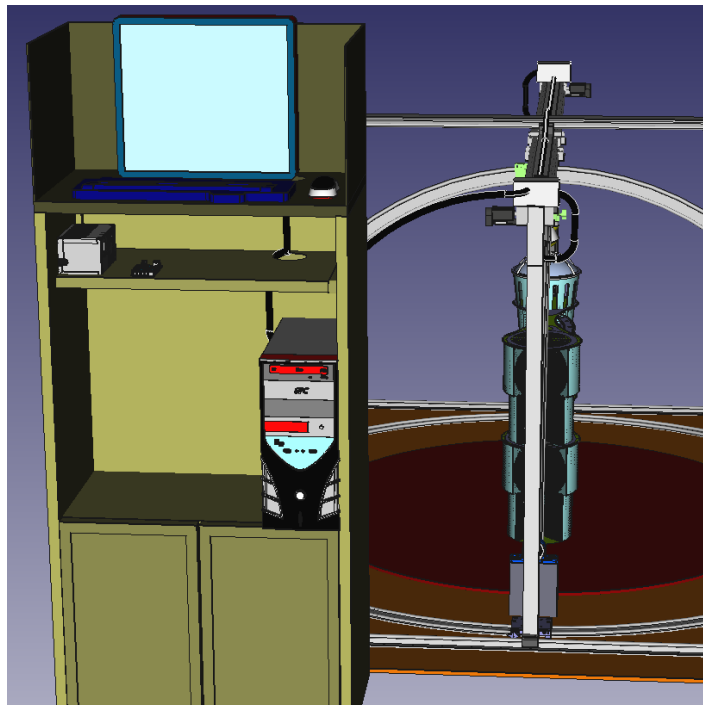


Figura 3.6. Puesto de control

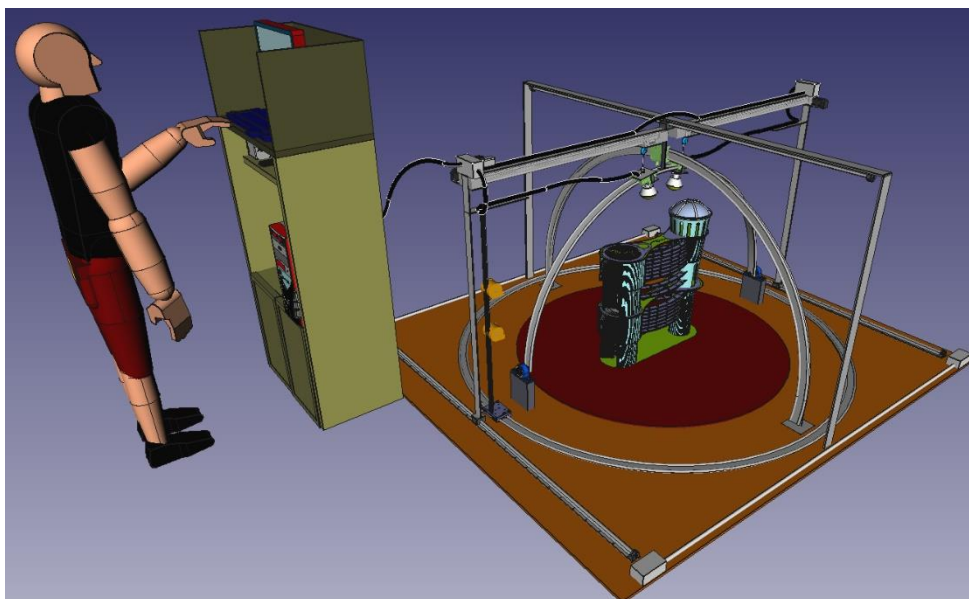


Figura 3.7. Vista total del proyecto

3.3 Sensor de flujo de aire

3.3.1 Principios físicos

El filamento de la bombilla varía su resistencia ya sea cambiando la diferencia de potencial aplicada sobre el mismo o variar la temperatura del mismo, como este se mantendrá sometido a una diferencia de potencial fijo, el cambio de la resistencia se da mediante el flujo de aire que da al filamento, lo recomendable es usar una bombilla de 6.3 V y 0.15 A para obtener una variación suficiente de resistencia para que el circuito capté la variación de voltaje.

3.3.2 Principios de diseño del sensor

El sensor debe ocupar poco espacio, por lo que se implementó tecnología SMD para el montaje de la PCB. La señal que nos indica el nivel de flujo de aire existente será la salida del amplificador operacional el cual deberá estar entre un rango de valores dentro de 0 a 5V para poder ser leídos por el controlador.

Este valor podría ser ajustado añadiendo otra etapa de ajuste al sensor, pero debido a que se requiere que ocupe poco espacio se omitió esto y se realizan pruebas para validar el rango de voltaje que se podrá obtener con este.

3.3.3 Pruebas

Para las pruebas realizadas se aproximaron los posibles valores de resistencia que toma el filamento tomando los datos nominales del bombillo, este al energizarse se calentará ligeramente lo que aumentará su resistencia, consideramos un aumento de resistencia en un aproximado de 20 Ohmios.

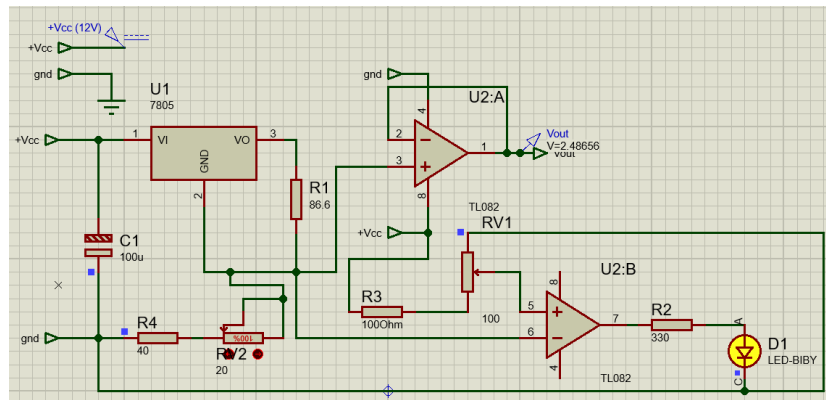


Figura 3.8. Medición de voltaje del sensor con presencia de aire

El potenciómetro RV2 funcionará como la variación de la resistencia del filamento, aquí colocándolo a un valor mínimo observamos que la salida de nuestro sensor es de 2.49 V esto será cuando exista circulación de aire sobre el filamento ya que este reducirá ligeramente la temperatura del mismo produciendo esta medición, también podemos observar el led amarillo encendido indicándonos que efectivamente existe circulación de aire en ese momento. Por otro lado, cuando no exista circulación de aire, este valor de resistencia aumentará por lo cual cambiará el valor de la salida y el led se apagará.

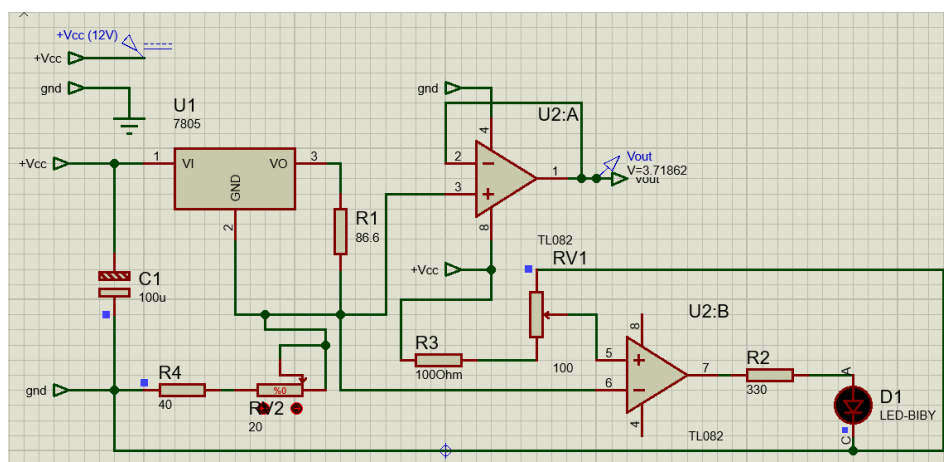


Figura 3.9. Medición de voltaje del sensor sin presencia de aire

La salida que ahora presente es de 3.72 V, por lo que se deduce que tiene una lógica inversa, es decir cuando hay presencia de flujo de aire, el voltaje es reducido, y cuando no el voltaje se eleva un poco, entonces se debe cambiar la parte de la codificación del mapeo de la señal analógica del sensor de flujo, ya que este ya no estará trabajando de 0V a 5V sino de 2.49V a 3.72V. Se cambiaría la línea 139 por:

```
138. ValorA1 = analogRead(A1);
139. FLUJO = map(ValorA1, 509, 761, 10, 0);
```

3.4 Conexiones

Para la simulación se trabajó con 3 cuartos, y se comunicó mediante un puerto serial virtual para la comunicación con LabVIEW. También se emula el sensor de flujo de aire como un potenciómetro conectado entre 5V y GND.

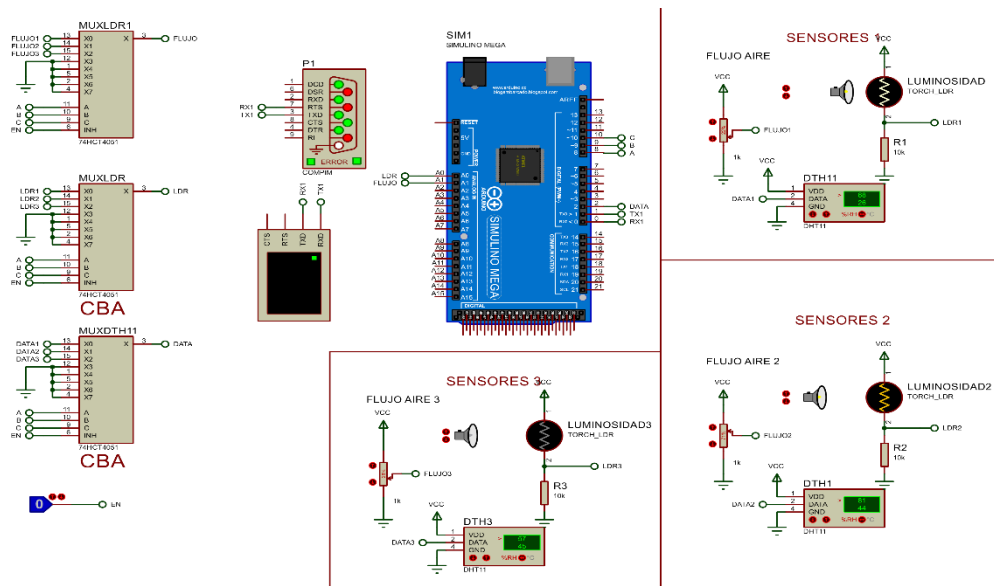


Figura 3.10. Diagrama esquemático electrónico

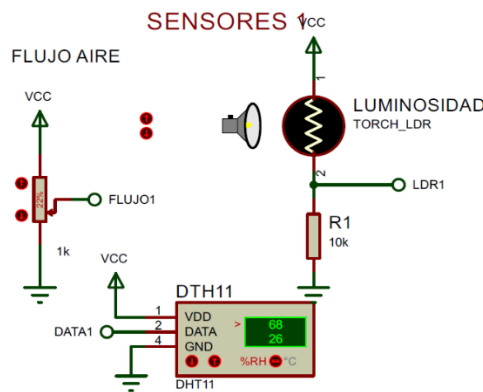


Figura 3.11. Sensores dentro de la habitación 1

3.5 Pruebas de Software del microcontrolador

Para comprobar el funcionamiento del código implementado se realizó físicamente la conexión del Arduino MEGA 2560 en protoboard, con los sensores DHT11, LDR y un potenciómetro para el sensor de flujo de aire. Para las entradas selectoras del MUX puesto a que no se consiguió el integrado en cuestión a motivos de las limitadas distribuidoras disponibles, se utilizó 4 leds para observar los cambios de las señales de las mismas.

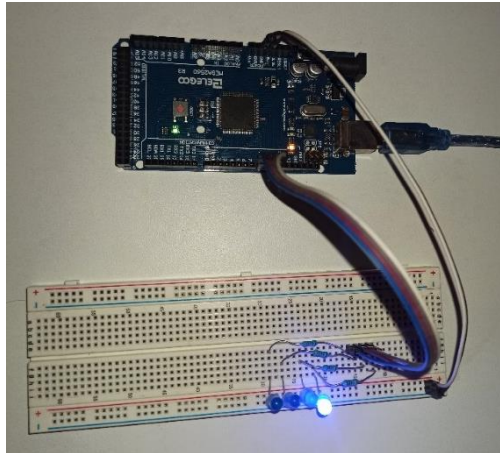


Figura 3.12. Prueba de selectoras de MUX

Finalmente se verificó que los datos enviados al monitor serie fueran los esperados según el cuarto que debería estar iterando, en este caso todos los valores serán los mismos dado que para todos los cuartos está leyendo los mismos 3 sensores.

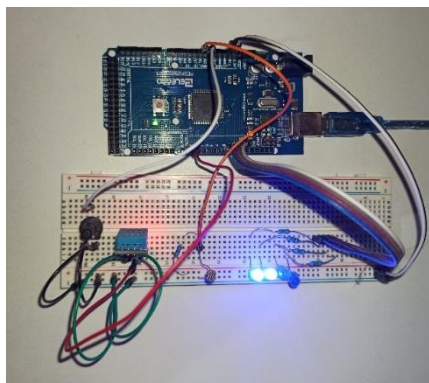


Figura 3.13. Circuito implementado físicamente

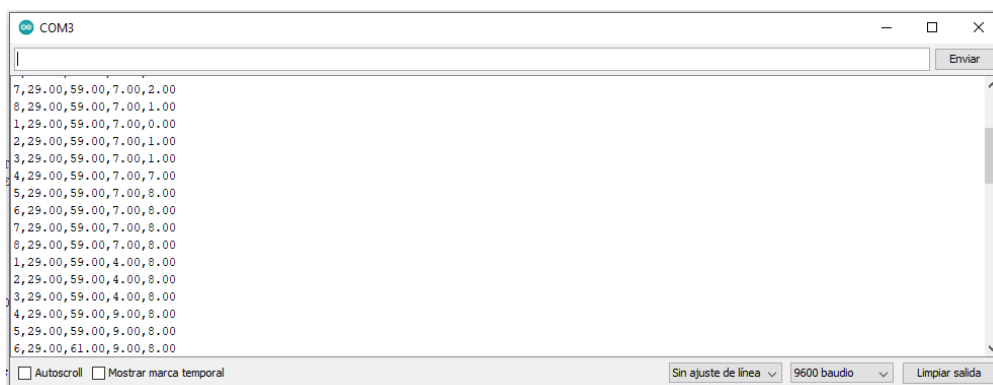


Figura 3.14. Datos enviados al monitor serie

3.6 Validación total del proyecto

Finalmente realizamos la simulación para comprobar el funcionamiento del prototipo y de la interfaz. Proteus permite variar la lectura de la LDR y del DHT11, sin embargo, el sensor diseñado no se puede realizar un empaquetado dentro del programa por lo cual se simuló este sensor como un potenciómetro.

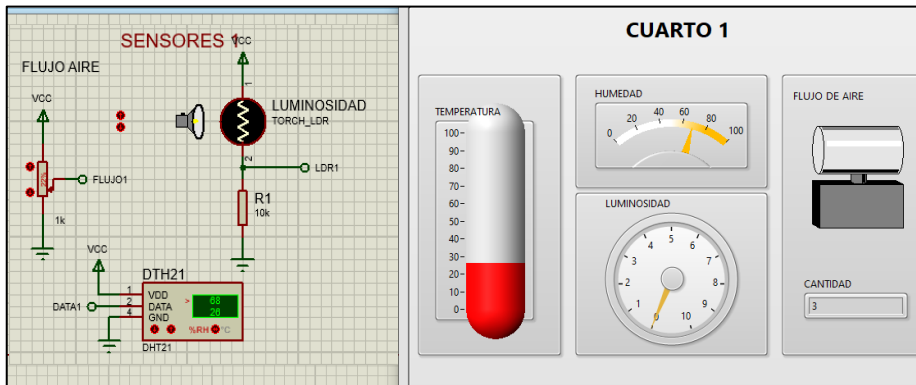


Figura 3.15. Datos visualizados en LabVIEW.

En la simulación únicamente se comprobó para 4 cuartos que se enviaban los datos de los sensores, para los otros cuartos la lectura era 0 debido a que se conectó a tierra las demás entradas del MUX. Inicialmente se tuvo problemas de transmisión de datos debido a que durante la simulación se tuvo varios programas abiertos reduciendo la velocidad el procesador para esta tarea, por lo cual la lectura de datos era errónea se devolvían datos nulos.

Las pruebas realizadas al final haciendo variar los parámetros para los diferentes cuartos, en la interfaz se muestra el cambio de los datos cada 3 segundos debido al tiempo de muestreo que se necesita para la lectura del DHT11.

Los parámetros que se variaron hacen referencia a los diferentes movimientos que se podrá realizar con la maqueta, ya que no fue posible conectar de alguna forma la incidencia de la luz, o temperatura del programa FreeCAD con Proteus. Sin embargo, sí se pudo realizar los movimientos en el mismo programa para comprobar que se abarca todas las regiones deseadas.

3.7 Análisis de costos

En la tabla 3.1 se detallan los valores de las diferentes componentes a invertir en el proyecto.

Unid		Precio Unidad	Precio
Estructura para los movimientos			
1	Plancha madera c endesa 2,5 x 2,2 m x 9mm	\$ 12,00	\$ 12,00
8	Double rail, WSB, round, quarter circle R:1m	\$ 12,50	\$ 100,00
4	Carriage for curved rail, round	\$ 8,00	\$ 32,00
3	Eje deslizante diámetro 8 mm largo perfil R 2000 mm	\$ 15,00	\$ 45,00
3	Tuerca deslizante- SHF8 Diámetro 8 mm	\$ 5,00	\$ 15,00
6	Tuerca fija -SHF8 Diámetro 8 mm	\$ 3,00	\$ 18,00
2	Eje lineal	\$ 40,00	\$ 80,00
4	Tubo rectangular	\$ 2,50	\$ 10,00
2	Ventilador soplador 5015 12V	\$ 8,50	\$ 17,00
3	Yoyo retráctil	\$ 1,00	\$ 3,00
2	Chumaceras	\$ 3,00	\$ 6,00
2	Soporte de motor Nema	\$ 5,00	\$ 10,00
2	Motor Nema 17 1,2 A 0,4 Nm + cable	\$ 16,00	\$ 32,00
2	Bombilla solar	\$ 20,00	\$ 40,00
2	Boquilla	\$ 1,00	\$ 2,00
15	Metro de cable UTP	\$ 0,25	\$ 3,75
10	Metro de cable cordón para lámpara	\$ 0,30	\$ 3,00
4	Metro de Banda de embalaje espiral	\$ 0,75	\$ 3,00
1	Conector macho	\$ 0,50	\$ 0,50
4	Conector hembra	\$ 0,50	\$ 2,00
7	Cajas rectangulares	\$ 0,80	\$ 5,60
1	Tubos de media pulgada eléctrico	\$ 1,00	\$ 1,00
2	Encoder	\$ 4,00	\$ 8,00
1	Arduino NANO	\$ 6,00	\$ 6,00
1	Fuente de poder 12 V - 30 A	\$ 11,50	\$ 11,50
Sensores y recolección de datos			
1	Arduino MEGA 2560	\$ 15,00	\$ 15,00
10	DHT11	\$ 2,00	\$ 20,00
10	LDR	\$ 0,40	\$ 4,00
10	Resistor 10k	\$ 0,10	\$ 1,00
3	Multiplexor CD74HC4067	\$ 3,00	\$ 9,00
6	Cable UTP Cat6 (metro)	\$ 0,40	\$ 2,40
Sensor de flujo de aire			
10	Resistor 86.6	\$ 0,50	\$ 5,00
10	Resistor 100	\$ 0,50	\$ 5,00
10	Resistor 330	\$ 0,50	\$ 5,00
10	Led	\$ 0,40	\$ 4,00
10	Trimmer	\$ 0,60	\$ 6,00
10	LM7805	\$ 1,20	\$ 12,00
10	TL082	\$ 0,80	\$ 8,00
10	Capacitor 100uF	\$ 0,60	\$ 6,00
10	Bornera 3 pines	\$ 0,20	\$ 2,00
10	Bornera 2 pines	\$ 0,15	\$ 1,50
10	Filamento	\$ 0,80	\$ 8,00
Ingeniería			
1	Diseño del sistema	\$ 250,00	\$ 250,00
TOTAL			\$ 830,25

Tabla 3-1. Tabla de costos del proyecto

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del desarrollo del presente proyecto se fueron observando varios detalles en los que se deberá enfatizar y realizar pruebas al momento de la implementación física del proyecto, puesto que al sólo realizar simulaciones se tienen varias limitantes.

Actualmente no existen mecanismos de comprobación para edificaciones que permitan evaluar el aprovechamiento de la ubicación geográfica donde se encuentre este, por lo cual este proyecto permitirá tener un conocimiento más cercano a la realidad, y obtener información que se escapa de las simulaciones de los BIM.

A continuación, se menciona las conclusiones y recomendaciones tras el análisis profundo de los aspectos estudiados y desarrollados, esto con fin de que este proyecto pueda ser dado continuidad.

4.1 Conclusiones

Se observó que los aspectos más influyentes de analizar en las edificaciones son: humedad, temperatura, luminosidad y ventilación (flujo de aire). Para lo cual logramos identificar los elementos principales para la medición de estos parámetros, así como el diseño de un sensor, la selección del microcontrolador que sea lo suficientemente potente para manejar la adquisición de datos y análisis de estos, y de la misma forma el diseño de la estructura física que permite emular las condiciones climáticas de estas variables para las diferentes épocas del año y hora del día.

El tiempo de muestreo de todos los cuartos está sujeto al sensor DHT21, el cual en el datasheet nos menciona que su tiempo de muestreo es de 2 Hz, en la simulación del proyecto se utilizó un tiempo de muestreo de 3 segundos, ya que esto fue el mínimo valor con el cuál no se presentaban valores erróneos. A pesar de que este tiempo de muestreo puede ser considerado elevado para un análisis en tiempo real, dada a la naturaleza del proyecto que es de implementación de bajo costo, y que las variables a medir no tienen cambios de valores bruscos, este sensor es adecuado para el fin deseado.

4.2 Recomendaciones

Debido a que los sensores fueron simulados y la comunicación serial entre LabVIEW y Proteus también, al implementar físicamente este proyecto se debe reajustar el valor del tiempo de muestreo debido a que se debe comprobar que la información enviada por el DHT11 sean datos no nulos, además de que físicamente se podría inclusive reducir el tiempo de 3 segundos a 1 según la hoja del fabricante del sensor.

En este proyecto se consideran sólo 4 parámetros para el análisis de datos de la edificación. Sin embargo, el tamaño de este proyecto puede abarcar más aspectos por lo cual se sugiere a futuros colaboradores interesados en este proyecto, complementarlo de tal forma que pueda ser más versátil y completo, así como también encontrar formas de optimización del proceso de adquisición de datos o mejoras en la instrumentación

5. REFERENCIAS

5.1 Bibliografía y Referencias

- Centers for Disease Control and Prevention CDC, U.S. Department of Health & Human Services DHHS. (7 de December de 2015). *Centers for Disease Control and Prevention*. Obtenido de https://www.cdc.gov/https://www.cdc.gov/nceh/radiation/nonionizing_radiation.html
- Chivelet, N. M. (1999). *Estudio de la influencia de la reflexión, el ángulo de incidencia y la distribución espectral de la radiación solar en los generadores fotovoltaicos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Javier Garcia, Eva Mancilla. (s.f.). *Domotica*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Leonel Corona Ramírez, Griselda Abarca Jiménez, Jesús Mares Carreño. (2014). *Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino*. México: Grupo Editorial Patria.
- Maestre Torreblanca, José Ma. (2015). *Domótica para ingenieros*. Paraninfo.
- Mtra. Arq. Perla Liliana Zambrano, Dra. Lilia Rosalía Prado León. (2015). *Simulación de iluminación natural en oficinas; implicaciones para la eficiencia visual*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Nilesh Y, Jadhav Springer. (2016). *Green and Smart Buildings - Advanced Technology Options*.
- Penin, A. R. (2012). *Sistemas SCADA*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Picó, E. C. (2008). *INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BIM*. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona.
- Samir Kouro, Jaime Glaría. (2001). *Sensores de humedad*. Acceso San Luis, Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María - Departamento de electrónica.
- Sandoval, M. A. (2004). *INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN LA REFLECTANCIA DE LA RADIACIÓN UV-B, UV-A Y VISIBLE SOBRE SUPERFICIES DE HORMIGÓN*. Universidad Austral de Chile.
- SCENIHR, S. C. (2012). *Health Effects of Artificial Light*. European Comission.

5.2 Linkografía

Características y precio de la bombilla para terrarios:

<https://www.amazon.com/-/es/MIXJOY-Bombilla-intensidad-autoballastada-mercurio/dp/B083XR7SHM>

Características y precio del ventilador centrífugo:

https://www.amazon.es/ATATMOUNT-BFB0712H-Proyector-Ventilador-Centrífugo/dp/B08RN6MT8L/ref=sr_1_5?dchild=1&keywords=ventilador+12v+dc&qid=1612710028&sr=8-5

Catálogo de productos CNC:

<https://www.ecuarobotics.com/productos-cnc.html>

Características y precio del eje lineal

<https://es.aliexpress.com/item/4000183618694.html>

Características y precio del motor de paso

<https://www.amazon.com/-/es/controlador-gradual-pulgadas-conector-impresora/dp/B01GNAGJ12>

Características y precio del yoyo retráctil

<https://es.aliexpress.com/item/4000635694412.html>

Eje deslizante:

<https://www.igus.com/product/778>

Tuerca deslizante:

<https://www.igus.com/product/1207>

Chumacera de piso:

https://www.casadelruliman.com/p204_djf

Riel circular 1

<https://www.igus.eu/product/14914>

Riel circular 2

<https://www.igus.eu/product/14915>

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/motor-paso-a-paso/>

APÉNDICES

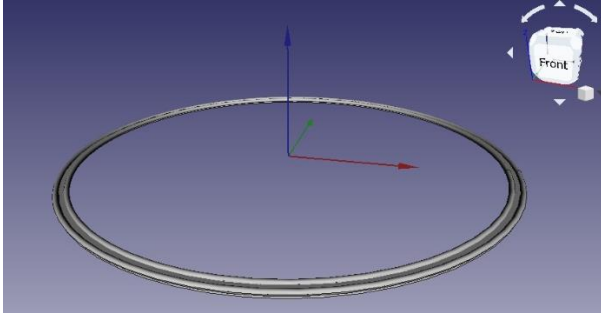


Figura A.1 Modelado 3D del riel circular

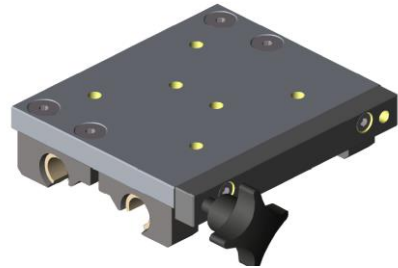


Figura A.2 – Modelado 3D del carro

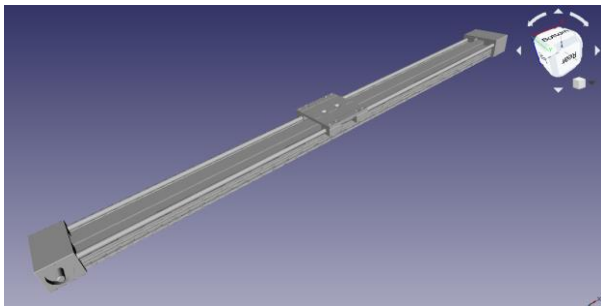


Figura A.3 – Modelado 3D del eje lineal

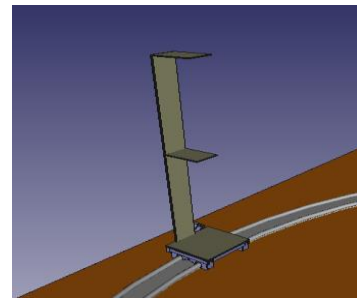


Figura A.4 – Modelado 3D del soporte para los ventiladores

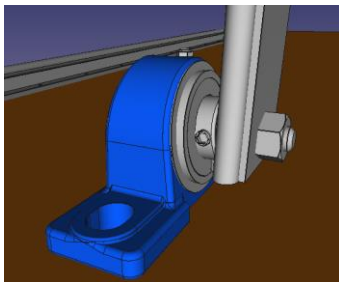


Figura A.5 – Modelado 3D del rodamiento

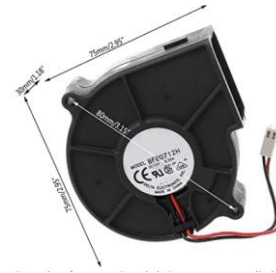


Figura A.6 – Ventilador centrífugo

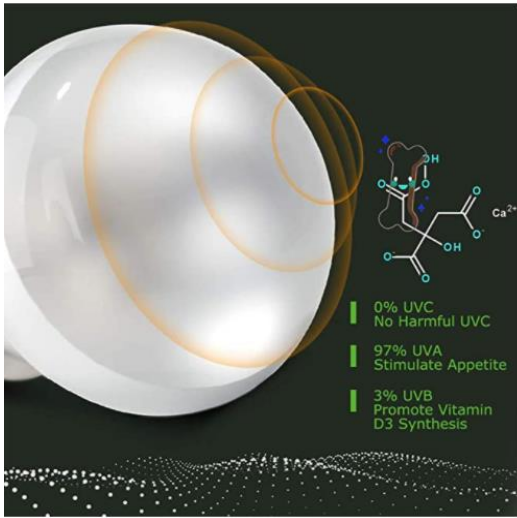
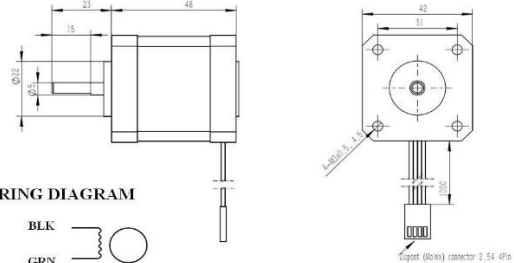


Figura A.7 -Información de rayos UV en foco para terrarios

•DIMENSIONS, unit: mm



•WIRING DIAGRAM

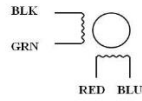


Figura A.8 – Diagrama de motor de paso

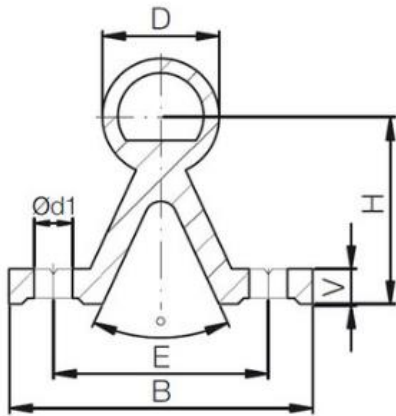


Figura A.9 – Dimensiones del riel deslizante

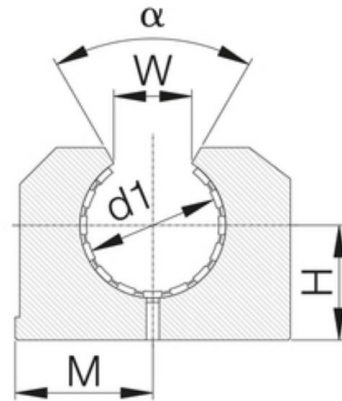


Figura A.10 – Dimensiones de la tuerca deslizante

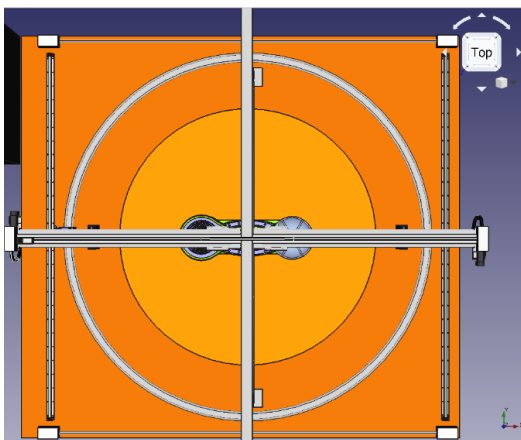


Figura A.11 – Vista superior del sistema

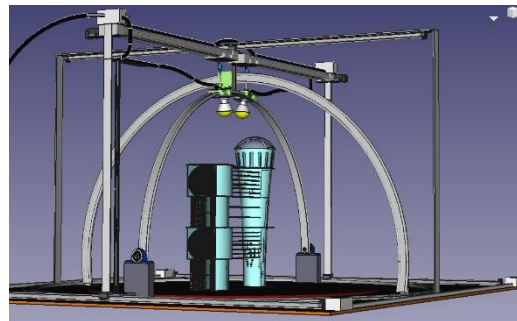


Figura A.12 - Vista en perspectiva del sistema